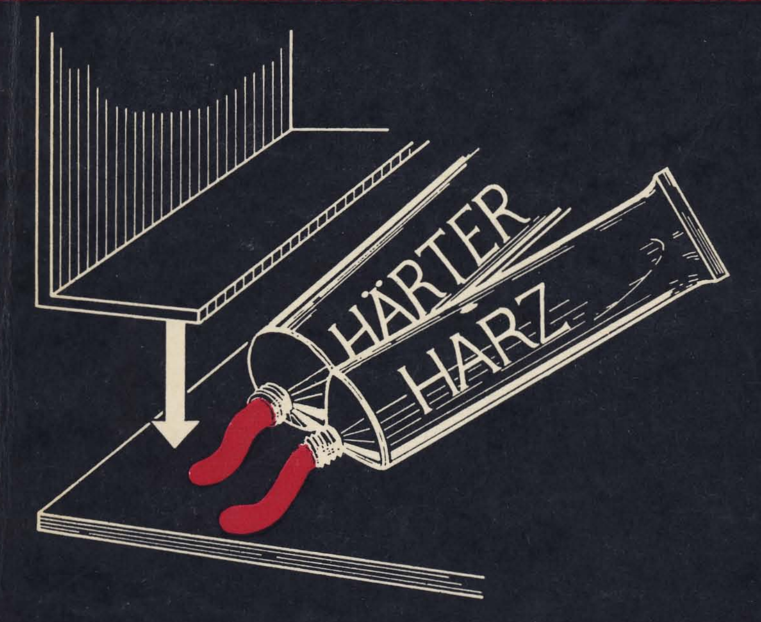
amateurreihe

electronica



Wolfgang Ludeck

145

Kleben in der Amateurtechnik

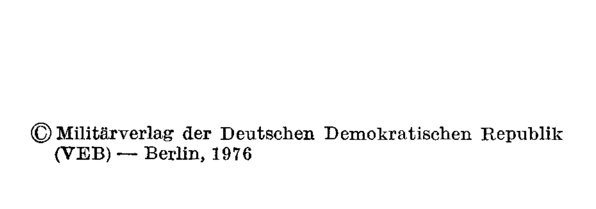
electronica · Band 145

WOLFGANG LUDECK

Kleben in der Amateurtechnik



MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK



Inhaltsverzeichnis

Vorwort ... 7
1. Theoretische Einführung ... 8
1.1. Beschreibung der wichtigsten Werkstoffe ... 8
1.1.1. Polymethacrylsäureester (Piacryl) ... 9
1.1.2. Polystyrol ... 10
1.1.3. PVC ... 11
1.1.4. Polyäthylen, Polypropylen ... 11
1.1.5. Celluloseacetat ... 12
1.1.6. Phenolharze ... 12
1.1.7. Aminoplaste ... 13
1.1.8. Epoxidharze ... 14
1.1.9. Polyester ... 15
1.1.10. Polyurethane ... 16
1.2. Mechanische Bearbeitung der wichtigsten Plastwerkstoffe ... 17

2. Einteilung der Klebstoffe ... 20
3. Technologische Voraussetzungen ... 22
3.1. Oberflächenbehandlungen ... 22
3.2. Werkstofftypische Hinweise ... 28
3.2.1. Metalle ... 28
3.2.2. Plaste ... 29
3.2.3. Holz ... 30
3.2.4. Glas ... 30
3.2.5. Gummi, Filz, Leder ... 31
3.2.6. Beton ... 31

4. Übersicht, Charakteristik und Verarbeitung gebräuchlicher Klebstoffe ... 32
4.1. Epoxidharze ... 32
4.1.1. Epasol EP 11 ... 33
4.1.2. Epilox EGK 19 ... 35
4.1.3. Epasol EP 2 ... 38

4.1.4. Epasol EP 30 39
4.1.5. Epilox EK 10 42
4.1.6. Eigenschaften der mit Epoxidharzen hergestellten Klebverbindungen 43
4.2. Polyester 45
4.2.1. Polyester G 45
4.2.2. Mökodur L 5001 46
4.2.3. Hobbyplast 46
4.3. Acrylate 47
4.3.1. Kalloplast R 47
4.3.2. Piaflex LT 30, Epasin H 1243, Epasin H 1207 ... 48
4.4. Silikonkautschuk 49
4.5. Polyvinylacetat 51
4.5.1. Berliner Holzkaltleim, Brauns PVAc-Leime Type „0", „L" und S", Dispersionskitt L 58 S bzw. Dispersionsklebstoff L 58 S, Pelasal 136 G 51
4.5.2. Reinalit 50 53
4.5.3. Mökoflex L 2837 und L 2838 53
4.6. Polyvinylchlorid 54
4.7. Cellulosenitrat 55
4.8. Klebstoffe auf der Basis von Kautschuken 56
4.8.1. Chemisol L 1100 bis L 1199 56
4.8.2. Chemisol L 1300 bis L 1399 57
4.8.3. Chemisol L 1400 bis L 1499 57
4.8.4. Chemisol L 1500 bis L 1599 und Chemikal-Klebstoff 58
4.9. Polystyrol-Klebstoffe 59
4.10. Sulfitablauge, Bärenkleber 59
4.11. Sonstige Klebstoffe 60

5. Klebstoffe nach Maß 61
5.1. Verdünnungsmittel 61
5.2. Füllstoffe 63
5.3. Farbstoffe 65
5.4. Elastifizierungsmittel 67

6. Kriterien zur Klebstoffauswahl 69
6.1. Auswahl nach der Anwendungsform 69

6.2. Vor- und Nachteile des Klebens 70

7. Hinweise für klebgerechte Konstruktionen 72

8. Ursachen für Fehlklebungen 79

9. Arbeitsschutz 80
9.1. Lösungsmittel und lösungsmittelhaltige Klebstoffe 80
9.2. Epoxidharze und Härter 81
9.3. Polyester und Polyacrylate 81

10. Klebstofftabellen 83

11. Bezugsmöglichkeiten 87

12. Erläuterung häufig verwendeter Begriffe 89

Literaturverzeichnis 91

Vorwort

In dieser Broschüre sollen einige Probleme der Klebtechnik dargestellt werden. Die Aufgabe erscheint besonders wichtig, da bisher über dieses Arbeitsgebiet wenig und zum Teil widersprechende Angaben gemacht worden sind. Auch die klebstoffherstellende Industrie hat nur wenig zur Beseitigung dieses Übels beigetragen.

Die Mehrheit der Veröffentlichungen über Klebstoffe und Probleme der Klebtechnik in Zeitschriften, Büchern, Berichten und Prospekten sind sehr verstreut, nicht umfassend und nur in den seltensten Fällen für den Amateur geschrieben. Überhaupt besteht ja in der Abfassung einer solchen Broschüre die Schwierigkeit, auf die vielen und dazu örtlich noch unterschiedlich bezeichneten Produkte so einzugehen, daß für die wesentlichen Anwendungsgebiete allgemein gültige Lösungsmöglichkeiten angegeben werden.

Der Verfasser hofft, mit dem vorliegenden Heft einen kleinen Beitrag zur Verbesserung der Situation gegeben zu haben.

Berlin, im Sommer 1975 *Wolfgang Ludeck*

1. Theoretische Einführung

1.1. Beschreibung der wichtigsten Werkstoffe

Die Kenntnis über Aufbau und Struktur der „Fügeteilpartner“ ist in der Klebtechnik eine wichtige Voraussetzung. Folgende Werkstoffe werden in der Amateurtechnik vorzugsweise eingesetzt:

Metalle:
Eisen, Kupfer, Messing, Aluminium
Plaste:
Polymethacrylsäureester, Polystyrole, PVC, Polyäthylen, Polypropylen, Celluloseacetat, Phenolharze, Aminoplaste, Polyester, Epoxidharze, Polyurethane
Sonstige Materialien:
Holz, Glas, Gummi, Filz, Leder, Beton.

Außer bei den Plasten sind die Eigenschaften dieser Werkstoffe weitestgehend bekannt. Im Bedarfsfall kann man in der entsprechenden Literatur [1, 2, 3, 4] nachlesen.

Unter Plastwerkstoffen sollen hier hochmolekulare organische Verbindungen verstanden werden, die aus synthetischen oder Naturprodukten durch Umwandlung entstanden sind. Auf Grund der verschiedenartigen chemischen Zusammensetzung gibt es eine außerordentlich große Anzahl von Plasten.

Die leider oft benutzte Einteilung in Hart- und Weichplaste beschreibt zwar willkürlich einen äußeren Zustand, läßt aber auf sonstige Eigenschaften keinerlei Rückschlüsse zu. Sinnvoller erscheint die Einteilung der Plastwerkstoffe nach ihrem Verhalten beim Erwärmen in Duro- und Thermoplaste. Unter Duroplaste versteht man solche Plaste, die einen vernetzten Aufbau aufweisen und beim Erwärmen in der Hitze nicht schmelzen. Thermoplaste werden dagegen in der Hitze plastisch. Sie haben eine lineare Struktur. Man kann sie nun noch willkürlich in harte und weiche Typen unterteilen. Dabei ist allerdings zu bemerken, daß sich bis auf das weichmacher-

haltige PVC und das Polyäthylen niederer Dichte alle hier beschriebenen Plastwerkstoffe fest und hart anfassen, so daß diese weitere Unterteilung wenig Vorteile bringt.

Für die vielen Plastwerkstoffe existieren sowohl national als auch international sehr verschiedene Handelsbezeichnungen. Um sich unmißverständlich auszudrücken, ist es aus diesem Grund erforderlich und gebräuchlich, auch die chemische Bezeichnung des Stoffes zu nennen.

1.1.1. Polymethacrylsäureester (Piacryl)

Dieser thermoplastische Werkstoff, der unter den Namen „Piacryl", „Plexiglas", „organisches Glas" oder unter der Kurzbezeichnung PMMA bekannt ist, wird bei uns im Düngemittelkombinat VEB Stickstoffwerk Piesteritz, 4602 Wittenberg, hergestellt. Er ist in der *TGL 21 410* standardisiert.

Das Material ist hart, relativ kratzfest, schwer zerbrechlich, weist einen guten Oberflächenglanz auf und ist glasklar. Neben seiner hohen Lichtdurchlässigkeit, Alterungs- und Witterungsbeständigkeit sowie einer weitgehenden Splittersicherheit hat es ein gutes elektrisches Isolationsvermögen und eine hohe Kriechstromfestigkeit.

Piacryl ist in Tafeln, Blöcken und Rohren im Handel erhältlich. Neben dem transparenten farblosen Material wird es auch in verschiedenen Farbtönen hergestellt. Die Tafeln (ab 1 mm Stärke) sind mit Schutzpapier beidseitig beklebt. Weitere Einzelheiten kann man den Angaben des Herstellers entnehmen [5].

Entsprechend seinen Eigenschaften findet dieser Werkstoff eine sehr vielseitige Anwendung. Er kann für Verglasungen und Abdeckungen, Lichtkuppeln, Gehäuse, Rücklichtkappen, Schilder, Linsen sowie für Beleuchtungskörper und Isolatorenteile, im Modellbau und für Funktionsmuster angewendet werden. Durch die gute Oberflächenbeschaffenheit ist er häufig für dekorative Teile wie Knöpfe, Skalen, Ziergitter verwendbar.

1.1.2. Polystyrol

Polystyrol ist einer der bekanntesten Thermoplaste. Man muß bei diesem Material zwischen reinem, schlagzähem und Schaumpolystyrol unterscheiden.

Reines Polystyrol hat ein sehr geringes Wasseraufnahmevermögen und sehr gute dielektrische Eigenschaften. Es ist sehr spröde, und es entstehen leicht Spannungsrisse. Ungünstig ist auch die relativ geringe Wärmebeständigkeit. Infolge der schlechten Witterungsbeständigkeit ist es nur bedingt für eine Außenanwendung geeignet. Polystyrol wird von den meisten Lösungsmitteln angelöst bzw. gelöst. Gegen sehr viele Säuren und Alkalien ist es beständig. Reines Polystyrol ist farblos transparent, und man kann es einfärben.

Das schlagzähe Polystyrol hat eine höhere Wasseraufnahme und schlechtere elektrische Isolationswerte. Dafür ist es nicht so spröde und neigt nicht so stark zur Spannungsrißkorrosion. Schlagzähes Polystyrol ist opak.

Polystyrol-Schaumstoff hat mit 15 bis 60 kg/m^3 nur eine sehr geringe Dichte. Die mechanische Festigkeit ist bei diesem zelligen Material nur gering. Thermisch sollte geschäumtes Polystyrol nicht über +70 °C belastet werden. Der Schaumstoff hat meist eine weiße Farbe.

Formteile der verschiedensten Art für Rundfunk- und Fernsehgeräte sowie Bauteile der Schwachstrom- und Hochfrequenztechnik und der Beleuchtungsindustrie, wie Lichtschalter, Teile von Lampen und anderes, bestehen oft aus reinem Polystyrol. Die durch Extrusion gewonnene Folie wendet man zur Isolation, z. B. beim Bau von Kondensatoren, an.

Schlagzähes Polystyrol wird zur Auskleidung von Geräten, für Gehäuse von Küchenmaschinen und Staubsaugern, für Armaturen und Kfz-Teile sowie Profile der verschiedensten Art verarbeitet bzw. verwendet.

Polystyrol-Schaumstoff wird unter anderem zur Isolationstechnik und im Modellbau eingesetzt.

Weitere Angaben über Polystyrole findet man in der speziellen Literatur [6, 7, 8, 9, 10].

1.1.3. PVC

PVC ist die Abkürzung für Polyvinylchlorid. Diesen thermoplastischen Werkstoff, der im Kombinat VEB Chemische Werke Buna hergestellt wird, kann man mit und ohne Weichmacher verarbeiten. Das weichmacherfreie Material wird als PVC-hart, das weichmacherhaltige als PVC-weich bezeichnet. Sowohl PVC-H als auch PVC-W sind für die Elektrotechnik interessante Werkstoffe.
PVC-H ist wasserbeständig, beständig gegen viele Lösungsmittel, Säuren und Laugen. Es ist insbesondere in der Kälte schlag- und spannungsrißempfindlich.
PVC-W hat je nach Art und Menge des eingesetzten Weichmachers sehr unterschiedliche Eigenschaften. Gegenüber thermischen Belastungen ist PVC-W relativ anfällig. Bei geringer mechanischer Beanspruchung sind Dauertemperatureinwirkungen bis 60 °C möglich, bei höheren mechanischen Belastungen sollte man 40 °C nicht überschreiten, obwohl es auch Sonderprodukte gibt, die von —40 bis +90 °C verwendet werden können [11]. PVC-W ist möglichst nicht gleichzeitig thermisch und mechanisch zu belasten [12].
Entsprechend seiner Bedeutung wird dieser Werkstoff in den vielfältigsten Formen hergestellt. PVC-H ist in Platten, Rohren, Blöcken, Stäben und Folien verschiedener Abmessung erhältlich. Als Einsatzgebiete kommen besonders der Apparate- und Musterbau sowie der Armaturenbau in Frage. In der Hochfrequenztechnik kann das Material durch seinen hohen dielektrischen Verlustfaktor nur schlecht eingesetzt werden. Außerdem ist der Isolationswiderstand temperaturabhängig.
PVC-W wird insbesondere als Isolationsmaterial wie Schläuche, Folien, Tafeln und Profile unterschiedlicher Ausführung und Abmessung angeboten.

1.1.4. Polyäthylen, Polypropylen

Diese beiden Plastwerkstoffe gleichen oder ähneln sich in vielen Eigenschaften. Auf Grund der guten Eigenschaften hat sich

besonders das Polyäthylen, das in einer harten (PE-HD) und einer weichen Form (PE-ND) hergestellt wird, in relativ kurzer Zeit durchsetzen können. Polypropylen (PP) steht z. Z. in der DDR nicht zur Verfügung, soll aber demnächst aus der ČSSR importiert werden.

Polyäthylen faßt sich wachsartig, Polypropylen mehr glatter an. Polyäthylen und Polypropylen sind hervorragende Isolationsstoffe für die HF-Technik. Sie sind schwer zerbrechlich und sehr chemikalienbeständig.

Im Handel wird Polyäthylen als Tafelmaterial, in Rohren als Vollrundmaterial und in Folienform angeboten. Sowohl Polyäthylen als auch Polypropylen sind Thermoplaste.

1.1.5. Celluloseacetat

Celluloseacetat ist ein typischer Vertreter der Thermoplaste. Es zeichnet sich durch hohe Zähigkeit und Dehnung sowie gute Transparenz aus. Auf Grund seiner relativ schlechten dielektrischen Eigenschaften, hohen Wasseraufnahme, thermischen Empfindlichkeit und schlechten Maßhaltigkeit bei Feuchtigkeits- und Wärmeeinwirkung eignet sich dieser Werkstoff nur bedingt für den Einsatz in der Elektrotechnik.

1.1.6. Phenolharze

Diese Plastwerkstoffe stellen die sogenannten klassischen Duroplaste dar. Sie werden auch als Bakelite oder Phenol-Formaldehyd-Harze bezeichnet. Da sie im reinen Zustand zu spröde sind, vermischt man sie mit Füllstoffen der verschiedensten Art [13, 14, 15]. Neben Erzeugnissen und Bauteilen der Schaltelektronik und hauptsächlich der Elektroinstallation werden Phenolharze auch zur Herstellung von Hartpapier und Hartgewebe benutzt. Diese Halbzeuge sind als Platten, Rohre und Stangen im Handel [33].

Die Hartpapiertafeln werden wegen ihrer guten mechanischen

und dielektrischen Eigenschaften in folgenden Gebieten eingesetzt:

- in der Hochspannungstechnik im Transformatoren- und Schalterbau für Bedienungsteile, Zwischenwände, Distanzstücke und Kontaktträger;
- in der Niederspannungstechnik im Apparate- und Gerätebau, für Schalttafeln, Grundplatten, Klemmleisten, Frontplatten, Trennwände, Zwischenlagen und Distanzstücke.

Hartgewebe wird vorwiegend für Teile eingesetzt, die einer hohen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt sind, z. B. Gleitlager, Kolben, Lagerbuchsen, Isolierflansche, Zahnräder, Bremsbacken, Lauf- und Führungsrollen, aber auch für Abdeckungen, Gehäuse und Schalttafeln wird dieser Werkstoff häufig verwendet.

1.1.7. Aminoplaste

Zu den Aminoplasten gehören die Melamin-, Dicyandiamid- und Harnstoffharze. Alle drei sind Duroplaste. Am häufigsten begegnet man in der Elektrotechnik den Melaminharzen, die der VEB Stickstoffwerk Piesteritz herstellt und die hier kurz erwähnt werden sollen.

Bemerkenswert sind die Lichtechtheit und Feuchtigkeitsbeständigkeit. Wegen der Sprödigkeit des Materials bereitet eine mechanische Bearbeitung unter Umständen Schwierigkeiten. Man ist deshalb bemüht, solche Teile herzustellen, die keiner großen Nacharbeit bedürfen. Dazu gehören auch Bauteile der Elektroinstallation wie Schalter, Knöpfe, Stecker und Steckdosen, Kupplungsstücke aber auch Kondensatorensockel sowie Gehäuse für Schalterschütze. Weitere Einzelheiten über die Eigenschaften findet man in der Fachliteratur [5, 6, 7, 16, 17, 18].

Von besonderem Interesse sind die Melamin-Schichtpreßstoffe, die in verschiedener Art angeboten werden. Dazu gehören auch die Sprelacart- und Sprelafasplatten.

Unter Sprelacartplatten versteht man ein- und mehrfarbige Schichtpreßstoffe, die aus mit Phenolharzen getränkten Papierbahnen bestehen und ein- oder zweiseitig eine Deckschicht aus farbigem Melaminharz haben.

Sprelafasplatten sind oberflächenpreßvergütete Hartfaserplatten, die einseitig eine Melaminharzbeschichtung haben. Sprelacartplatten sind etwa 1,5 mm und Sprelafasplatten etwa 3,2 mm stark.

1.1.8. Epoxidharze

Den Epoxidharzen kommt, ähnlich wie den anschließend beschriebenen Polyesterharzen, in der Amateurtechnik eine sehr wesentliche Bedeutung zu. Sie sind ein durch die vielseitige Anwendungsmöglichkeit sehr wichtiges Hilfsmaterial. Epoxidharze werden sowohl im ungehärteten als auch im gehärteten Zustand angewandt. Die ungehärteten Harze, d. h. die sogenannten Vorprodukte, setzt man als Kleb-, Gieß- und Laminierharze ein.

Im gehärteten Zustand werden sie insbesondere mit Glasgewebe oder Asbestpapierbahnen verstärkt als Plattenmaterial vom VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler“ angeboten. Im Handel befinden sich die Typen *Cevausit 06* und *07* [19].

Cevausit 06 ist im Starkstromanlagenbau, z. B. für Sammelschienenhalterungen, Distanzstücke, Grundplatten, einsetzbar.

Cevausit 07, das glasfaserverstärkte Material, verfügt über sehr gute mechanische und dielektrische Eigenschaften. Entsprechend dem Eigenschaftsspektrum ist der Einsatz äußerst vielseitig. Dieser Werkstoff wird außer in der Nachrichten-, Meß- und Fernmeldetechnik auch im Transformatoren-, Starkstrom-Anlagen- und Elektromaschinenbau eingesetzt.

Von Interesse ist auch das ein- oder beidseitig kupferkaschierte Hartpapier bzw. glasfaserverstärkte Epoxidharz. Beide Erzeugnisse werden zur Herstellung gedruckter Schaltungen ver-

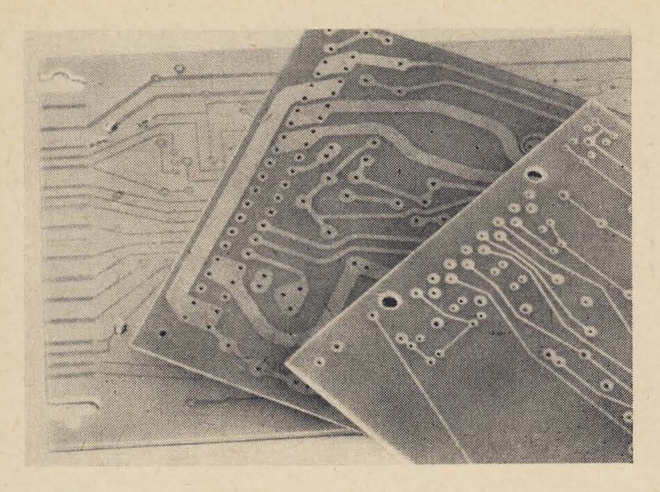


Bild 1.1 Gedruckte Schaltungen aus kupferkaschiertem Basismaterial

wendet, wie in Bild 1.1 dargestellt, die in der Rundfunk- und Fernsehindustrie, in der Meß-, Steuer- und Regelungstechnik sowie in vielen elektrischen und elektronischen Einrichtungen Anwendung finden.

1.1.9. Polyester

Unter dem Begriff Polyester versteht man Werkstoffe, die eine bestimmte funktionelle chemische Gruppe, die Carboxylat-Gruppe (Estergruppe — COOR), enthalten. Je nach verwendeten Rohstoffen gewinnt man Lackharze —, z. B. Alkydharze, Harze für Formteile, sogenannte ungesättigte Polyesterharze und Harze für Polyesterfasern.
Die ungesättigten Polyesterharze werden in ihrer unverarbeiteten Form später noch beschrieben. Hier sind nur die mit Glasfasern verstärkten, gehärteten Polyesterharze kurz erwähnt. Da die Eigenschaften solcher Werkstoffe stark vom Verstärkungsmaterial abhängen, bestehen erhebliche Unter-

schiede zwischen einer Glasmatten-, Glasrovinggewebe- und Glasseidengewebeverstärkung [2, 20]. Allgemein kann man sagen, daß die mechanische Festigkeit von Laminaten außerordentlich hoch ist. Das gilt auch für glasfaserhaltige Polyester-Preßmassen (Plastadur-Formmassen Typ *221* und *290*), die für mechanisch und elektrisch hochbelastete Konstruktionselemente verwendet werden [15].

1.1.10. Polyurethane

Diese Verbindungsgruppe ist relativ neu und soll uns erst in Zukunft vielfältiger angeboten werden. Von den zur Zeit in der DDR hergestellten Produkten sind die Schaumstoffe am leichtesten zugänglich und am längsten bekannt.

Der sogenannte Duromerschaum ist hart und fest, besteht aus einem porösen Kern mit unterschiedlicher Zellstruktur. Teile aus solchem Material zeichnen sich durch hohe mechanische Festigkeit und gute Oberflächeneigenschaften aus, die es gestatten, sie an Stelle von Metall- und Holzteilen einzusetzen sowie aus ihnen komplette Möbel wie Stühle, Tische und anderes zu fertigen. Die Dichte kann je nach Herstellungs- bzw. Verarbeitungsbedingungen zwischen 25 und 800 kg/m^3 betragen. Duromerschaum kann thermisch bis maximal 80 bis 120 °C je nach Typ belastet werden. Er ist gegen Öle, Fette, Wasser sowie verdünnte Säuren und Laugen beständig. Dieser Schaumstoff ist auch für die Herstellung von Gestellen, Schaltknöpfen, Chassis, von Gehäusen für Rundfunk- und Fernsehgeräte und vielen dekorativen Teilen wie Zierleisten, Reliefs und ähnlichem verwendbar.

Neben den harten Duromerschäumen sind die hochflexiblen Formschaumstoffe aus der Polstermöbelindustrie geläufig. Außer ihrer guten Flexibilität ist die Wärme-, Kälte- und Schallisolation am bemerkenswertesten. Diese Eigenschaften werden z. B. bei Formauskleidungen von Geräten mit hoher Phonzahl sowie für Dämpfungsteile und zur gezielten Frequenzstimulierung ausgenutzt.

Weitere Einzelheiten sind in der speziellen Literatur zu finden [21].

1.2. Mechanische Bearbeitung der wichtigsten Plastwerkstoffe

Plasthalbzeuge bedürfen oft der mechanischen Bearbeitung. Da sich aber die Plastwerkstoffe in vielen Eigenschaften stark voneinander unterscheiden, sind auch die Bearbeitungsbedingungen sehr verschieden. Eine Ausnahme bildet nur das Schneiden mit einer Handschlagschere, das für fast alle duro- und thermoplastischen Platten bis etwa 3 mm (je nach Werkstoffart) als geeignetes Trennverfahren angewendet werden kann. Bei sprödem Material wie Sprelacart besteht jedoch die Gefahr, daß die Schnittkanten ausbrechen. Durch Vorwärmen des Materials mit heißer Luft oder im Flüssigkeitsbad lassen sich leichter qualitativ saubere Schnittkanten erzielen.

Folgende Temperaturen werden für einige Plastwerkstoffe empfohlen:

Phenolharze	80—100 °C
Epoxidharze	60—100 °C
Sprelacart	90—110 °C
Polyesterharze	60— 80 °C
Celluloseacetat	40— 50 °C
PVC-H	40— 50 °C
Polyäthylen, Polypropylen	30— 50 °C

Die Qualität der Schnittkanten läßt sich durch größere Frei- und kleinere Keilwinkel an der Schere (1,5 bis 3° bzw. 75 bis 80°) verbessern.

Dünne Polyäthylen- oder Weich-PVC-Teile lassen sich gut mit einem scharfen Messer schneiden.

Neben dem Schneiden gehört auch das Sägen mit einer Kreis- oder Handsäge zu den gebräuchlichen Trennverfahren. Um Schmiereffekte zu vermeiden und saubere Schnittkanten zu erzielen, hat es sich als zweckmäßig herausgestellt, unge-

schränkte und hohlgeschliffene Kreissägeblätter zu verwenden. Folgende Zahnteilungen haben sich für Plastwerkstoffe bewährt:

Tabelle 1.1
Zahnteilungen bei Kreissägeblättern zum Schneiden von Plastwerkstoffen

Plastwerkstoff	Zahnteilung (mm)
Polystyrol	6— 8
Polystyrol, schlagzäh	3— 6
PVC-H	2—10
Polyäthylen, Polypropylen	3— 6
Piacryl (PMMA)	3— 8
Sprelacart	5— 8
Phenoplaste	4— 8
Hartpapier, Hartgewebe	6—10
Polyestergewebe, Epoxidharzgewebe	2— 3

Da Sägeblätter beim Schneiden glasfaserverstärkter Plaste einem starken Verschleiß unterliegen, ist die Verwendung von Trennscheiben ökonomischer. Dabei ist allerdings zu gewährleisten, daß der beim Trennen entstehende Staub abgesaugt wird. Ist das nicht möglich, sollte man die Arbeiten im Freien durchführen. Bei dünnem thermoplastischen Plattenmaterial unter 1,5 mm Stärke ist das Sägeblatt besser rückwärts laufen zu lassen.

Verwendet man Handsägen wie Tischlerfeinsägen, Fuchsschwänze und Metallsägen, ist auf eine feine Zahnung sowie auf gute Schärfe zu achten. Kleine Teile dicht an der zu schneidenden Stelle einspannen! Dafür entweder großbackige Spannzeuge oder bei kleinbackigen Spannzeugen Unterlegplatten verwenden. Die beim Sägen oder anders entstandenen Grate können bei den meisten Thermo- und Duroplasten mit einer groben Feile entfernt werden. Bei harten Thermoplasten wie PVC-H oder Piacryl ist es auch möglich, die Kanten mit einem Tischlerhobel oder mit Schmirgelleinen zu beseitigen. Naßschleifen ist dem Trockenschleifen unbedingt vorzuziehen.

Je nach Plastwerkstoff sind die Bohrerdrehzahl, der Spitzen-, Span- und Freiwinkel verschieden. Sind die Ansprüche jedoch nicht zu hoch, kommt man mit einem Spitzenwinkel von etwa 90° sowie einem Span- und Freiwinkel von etwa 10° aus. Bei glasfaserverstärkten Plasten sollte der Spitzenwinkel etwa 150° betragen. Da bei den meisten Plasten der Bohrer leicht verläuft oder wandert, verwendet man am besten geschliffene Wendelbohrer. Die Bohrstellen immer sauber und bei weichen Thermoplasten tief ankörnen!
Folgende Bohrerdrehzahlen gibt [6] für nachstehend aufgeführte Plastwerkstoffe an:

Tabelle 1.2
Bohrerdrehzahlen für unterschiedliche Lochdurchmesser

Plastwerkstoff	Bohrerdrehzahl (U/min)	
	⌀ 4 mm	⌀ 10 mm
Polystyrol	800	550
Polystyrol, schlagzäh	3000	1500
PVC-H	2000	950
Polyäthylen, Polypropylen	4000	1800
Piacryl (PMMA)	1000	600
Aminoplaste, Sprelacart	4800	2000
Phenoplaste	4000	1600
Hartpapier, Hartgewebe	3500	1200
Polyester- und Epoxidharzgewebe	9000	5400

In einigen Fällen ist die Benutzung eines Kühlmittels vorteilhaft.

2. Einteilung der Klebstoffe

Wenn man die einschlägige Literatur [22, 23, 24, 25] durchliest, findet man die verschiedensten Systematiken zur Einteilung der Klebstoffe. Da diese Broschüre für Praktiker geschrieben wurde, ist es auch zweckmäßig, die Klebstoffe nach ihrer Anwendungsform zu unterteilen. Danach gibt es unter Berücksichtigung der *TGL 24 006*:

Haftklebstoff
Klebstoff, der eine ständig zähflüssig bleibende Klebschicht bildet. Infolge seiner geringen Kohäsion und Adhäsion läßt er nur begrenzte Klebfestigkeiten zu.

Kontaktklebstoff
Klebstoff, der nach dem Verdunsten der Hauptmenge der Lösungsmittel aus der Klebstoffschicht durch kurzes Aneinanderpressen der beiden mit Klebstoff überzogenen Klebflächen sofort eine feste Verbindung, auch bezogen auf die Endfestigkeit der Klebverbindung, ergibt.

Klebdispersionen
Zum Kleben bestimmte organische Grundstoffe, die in einem Dispersionsmittel fein verteilt sind.
Bei Klebdispersionen ist der Klebgrundstoff nicht gelöst bzw. im Dispersionsmittel unlöslich.

Klebkitt,
auch Klebspachtel genannt, ist ein plastisch verformbarer Klebstoff, der keine oder nur geringe Mengen flüchtiger Lösungsmittel enthält. Er ist in der Regel vom Hersteller mit Füllstoffen angereichert und hat neben seinem Klebvermögen auch die Eigenschaft, dickere Klebfugen zu füllen. Substanzen zum Füllen oder Abdichten ohne besondere Anforderungen an die Klebfestigkeit fallen nicht unter den Begriff „Klebkitt".

Kleblack
ist eine streich- oder spritzfähige Lösung von organischen

Klebgrundstoffen in flüchtigen organischen Lösungsmitteln oder Lösungsmittelgemischen.

Leim
In Wasser löslicher oder gelöster Klebstoff.

Schmelzklebstoff
Fester Klebstoff, der zwecks Benetzung der Klebflächen durch Erwärmen verflüssigt wird.

Reaktionsklebstoff
ist ein Klebstoff, der durch chemische Reaktion wie Polykondensation, Polymerisation, Polyaddition oder Vulkanisation härtet.

Alle Klebstoffe bestehen aus einem nichtmetallischen Stoff und werden mit dessen Fügeteilen durch Kohäsion und Adhäsion verbunden, ohne daß sich das Gefüge und die Eigenschaften der zu verbindenden Fügeteile wesentlich ändern.

Die Haftklebstoffe, Kontaktklebstoffe, Klebdispersionen, Kleblacke, Leime und Schmelzklebstoffe sind meist Einkomponentensysteme, die eine relativ einfache Handhabung durch ihre ständige Klebbereitschaft mit Ausnahme der Schmelzklebstoffe gestatten.

Klebkitte und Reaktionsklebstoffe sind meist Zwei- oder Mehrkomponentenklebstoffe, bei denen die Komponenten getrennt aufbewahrt werden müssen. Vor dem Auftragen sind sie im vorgeschriebenen Verhältnis zu mischen oder getrennt auf die Klebflächen aufzutragen.

Voraussetzung für eine haltbare Verbindung ist eine gute Oberflächenvorbereitung und Vorbehandlung, zu der im nächsten Kapitel einige Ausführungen gemacht werden.

Wie sich eine Klebverbindung aufbaut, zeigt Bild 2.1 in Prinzipdarstellung.

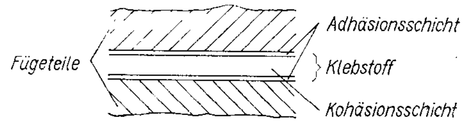


Bild 2.1 Aufbau einer Klebverbindung

3. Technologische Voraussetzungen

3.1. Oberflächenbehandlungen

Nur in den seltensten Fällen sind die Oberflächen der Fügeteile so gestaltet und beschaffen, daß man sie sofort für eine Klebverbindung verwenden kann. Da eine gute Benetzung jedoch die Grundlage für jede Klebverbindung ist, müssen die Oberflächen vorbereitet werden. Laut TGL 24 006 gehören dazu: Säubern, Anpassen und Entfetten der Klebflächen, ohne die Struktur zu ändern. Eine Erhöhung der physikalisch-chemischen Reaktionsfähigkeit der Klebflächen durch Vergrößern und Aktivieren der Oberflächen mit mechanischen, chemischen oder elektrochemischen Verfahren ist ebenfalls Voraussetzung, um eine gute Benetzung zu gewährleisten.

In der Praxis sieht das so aus, daß die Fügeteile möglichst gut zusammen passen sollen. Deshalb müssen Farbe, Rost und andere Fremdkörper entfernt werden. Danach sind die Fügeteilflächen durch Biegen, Feilen oder andere Maßnahmen einander anzupassen. Je nach Art der späteren Belastung ist eine gute Entfettung erforderlich. Als Entfettungsmittel eignen sich organische Lösungsmittel wie

Aceton,
Methylenchlorid,
Trichloräthylen (Kurzbezeichnung: Tri),
Tetrachlorkohlenstoff (Kurzbezeichnung: Tetra),
Perchloräthylen (Kurzbezeichnung: Per).

Aber auch Alkohol oder Äthylacetat kann man unter Umständen als Entfettungsmittel einsetzen. Neben diesen Lösungsmitteln lassen sich auch starke alkalische Reinigungsmittel wie P3, Imi und ähnliches als wäßrige Lösung verwenden.

Die nachstehende Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht welches Lösungsmittel sich für welchen Werkstoff eignet:

Tabelle 3.1
Für Plastwerkstoffe unterschiedlich geeignete Lösungsmittel

Werkstoff	Alkal. Reing.	Aceton	Methylen-chlorid	Tetra	Tri	Per	Äthanol	Äthyl-acetat
Eisen/Stahl	○	+	+	+	+	+	—	+
Aluminium	—	+	○	○	○	○	—	+
Messing	+	+	+	+	+	+	—	+
Kupfer	+	+	+	+	+	+	—	+
Glas	+	+	+	+	+	+	+	+
Keramik	+	+	+	+	+	+	—	+
Beton	+	○	+	+	+	+	—	○
Gummi	+	+	○	○	○	○	+	+
PVC-H	+	—	—	—	—	—	+	○
PVC-W	+	—	—	—	—	—	+	○
PMMA	+	—	—	—	—	—	+	○
Polystyrol	+	—	—	—	—	—	+	○
Polystyrol, sz	+	—	—	—	—	—	+	○
Polyester	—	+	+	+	+	+	+	+
Polyäthylen	+	+	—	—	—	—	+	+
Polypropylen	+	+	—	—	—	—	+	+
Phenoplaste	+	+	+	+	+	+	+	+
Aminoplaste	+	+	+	+	+	+	+	+
Celluloseacetat	—	—	○	○	○	○	+	—
Polyurethane	+	+	+	+	+	+	+	+
Epoxidharze	+	+	+	+	+	+	+	+

Polystyrol sz = Polystyrol schlagzäh
+ = gut geeignet
○ = nicht gut geeignet/unzweckmäßig
— = ungeeignet

Wie aus der Übersicht entnommen werden kann, sind beim Aluminium die chlorierten Kohlenwasserstoffe als unzweckmäßig eingeordnet worden, weil sie zu Reaktionen mit diesem Werkstoff neigen, die unter ungünstigen Bedingungen sehr spontan verlaufen können. Ansonsten sind diese Lösungsmittel, die *G. Kaliske* [26] untersuchte, hervorragende Ent-

fettungsmittel. Beim Entfetten von Plastwerkstoffen ist darauf zu achten, daß das verwendete Lösungsmittel den Werkstoff selbst nicht anlöst. Eine leichte Anquellung schadet nicht und kommt der späteren Klebverbindung, wenn ein Kleblack verwendet wird, nur entgegen.

Die Zeitspanne zwischen dem Entfetten und der weiteren Verarbeitung sollte je nach Klebstoff und zu klebendem Material nicht zu kurz, aber auf keinen Fall zu lang sein. Von Metallen, Glas, Keramik, Beton und den Duroplasten muß das Lösungsmittel restlos verdampft sein.

Kleinere Teile können in das Lösungsmittel eingetaucht werden. Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Teile in dem Bad zu bewegen, um eine gründliche Entfettung zu erreichen. Größere Gegenstände sind an den Klebstellen mit lösungsmittelgetränktem Zellstoff abzureiben. Die entfetteten Stellen dürfen nicht mit den Fingern berührt werden, da sonst durch Handschweiß, Hautfett oder an den Händen haftenden Schmutz Verunreinigungen erfolgen können. Um die reinigende Wirkung zu gewährleisten, ist der Zellstoff nur einmal zu verwenden.

Nach der Oberflächenvorbereitung kann eine Oberflächenvorbehandlung erforderlich sein. Grundsätzlich ist zu bemerken, daß bei vielen Werkstoffen mit der Entfettung der Oberfläche bereits eine ausreichende Oberflächenbehandlung erfolgt ist. Je nach Art der Beanspruchung der späteren Klebverbindung reicht unter Umständen auch die mechanische Bearbeitung einer Fläche aus, um eine gewisse Haftung zum Klebstoff zu gewährleisten. Das ist besonders bei Plastwerkstoffen wie Polystyrol, PVC und Piacryl der Fall, wenn diese mit einem Kleblack verbunden werden sollen.

Es gibt aber auch Verfahren zur Oberflächenvorbehandlung, die relativ einfach sind und eine beträchtliche Erhöhung der Klebfestigkeit ergeben. Zu solchen einfachen Verfahren gehören einige Methoden der mechanischen Vorbehandlung wie das Schleifen und Bürsten. Als günstige Korngröße hat sich Schleifleinen der Sorte 100 für Metalle bewährt. Die Schleifrichtung soll immer senkrecht zur Lastrichtung liegen. Eine Aufrauhung durch Schleifen kann man praktisch bei fast allen

Werkstoffen durchführen. Die Plaste, die durch herstellungsbedingte Preßhäute eine sehr glatte Oberfläche haben, wie Amino- oder Phenoplaste, bedürfen dieser Vorbehandlung, weil sonst die erzielten Festigkeiten nur sehr gering sind. Geschliffen wird nach dem Entfetten — nicht umgekehrt, da sonst die Festigkeit der Verbindung wieder abnimmt. Neben der mechanischen Vorbehandlung gibt es eine große Zahl von chemischen und chemisch-physikalischen Vorbehandlungen, die aber nur sehr schwer in der Amateurtechnik realisierbar sind. Neben einem hohen Aufwand bedürfen sie oft großer praktischer Erfahrungen, um die in der Literatur angegebenen Wirkungsgrade zu erzielen. Trotzdem sollen für einige gebräuchliche Werkstoffe chemische Verfahren genannt werden, die allerdings weniger in häuslicher Umgebung als vielmehr im Rahmen von Arbeitsgemeinschaften im Betrieb Anwendung finden können.

Werkstoff:	Chemisches Oberflächenvorbehandlungsverfahren
Aluminium:	Picklingsverfahren a) 30 Minuten in einer Lösung aus 27,3 MT konzentrierter Schwefelsäure (H_2SO_4; d = 1,82 g/ml), 7,5 MT Natriumdichromat ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$), 65,0 MT entsalztem Wasser, bei 60 °C beizen. b) 30 Minuten in fließendem Wasser von etwa 15 °C spülen. c) 1 Minute in entsalztem Wasser von 60 °C spülen. d) 13 Minuten im warmen Luftstrom von etwa 60 °C trocknen.
Stahl:	a) 10 Minuten in einer Lösung aus 5,5 MT konz. Schwefelsäure (H_2SO_4; d = 1,82 g/ml), 90,0 MT entsalztem Wasser, bei 80 °C beizen.

b) 20 Minuten in fließendem Wasser von etwa 15 °C spülen.
c) Spülen in Spiritus (Äthanol).
d) Trocknen im warmen Luftstrom.

Nichtrostender Stahl:
a) 15 Minuten in einer Lösung aus 30 MT konz. Salzsäure, HCl (d = 1,19 g/ml), 70 MT entsalztem Wasser, bei 20 °C ätzen.
b) 20 Minuten in fließendem Wasser von etwa 15 °C spülen.

Messing/Kupfer:
a) 6 Minuten in einer Lösung aus
22 MT 42%iger Eisen(III)chlorid-Lösung ($FeCl_3 \cdot G\ H_2O$),
43 MT konz. Salpetersäure (HNO_3; d = 1,42 g/ml),
200 MT entsalztem Wasser, bei 20 °C beizen.
b) 20 Minuten in fließendem Wasser von 15 °C spülen.

Polyäthylen:
Von den vielen Verfahren sollen hier zwei vorgestellt werden
— Die thermische Vorbehandlung
Dabei wird mit einer blauen, weichen Leuchtgasflamme (nicht gelbe, scharfe Flamme) die Polyäthylenoberfläche so lange vorsichtig abgeflammt, bis diese blank erscheint.
— Das Ätzen (10 bis 15 Minuten) von Polyäthylen in einer Lösung aus
1,5 MT entsalztem Wasser,
2,5 MT Kaliumbichromat ($K_2\ Cr_2O_7$),
30,0 MT konzentrierte Schwefelsäure ($H_2\ SO_4$; d = 1,82 g/ml),
bei 25 °C. Danach gut spülen und trocknen.

Polypropylen:
Ist ähnlich wie Polyäthylen zu behandeln. Die Temperatur der Lösung auf 70 bis 75 °C

erhöhen und die Ätzdauer auf etwa 2 Minuten verkürzen.

Glas: In vielen Fällen bereitet das Kleben von Glas besondere Schwierigkeiten. Mit einer guten Vorbehandlung der Oberfläche ist jedoch ein Teil der bestehenden Probleme bereits gelöst. Neben dem Entfetten mit Lösungsmitteln und Aufrauhen mit Korund-Schleifpaste kann auch 10 bis 15 Minuten in einer Lösung aus
1 MT Chromsäureanhydrid (GrO_3),
4 MT entsalztem Wasser
bei etwa 25 °C geätzt werden. Danach mit fließendem Wasser gut spülen und anschließend trocknen.

An dieser Stelle soll bereits darauf hingewiesen werden, daß alle Chemikalien, auch die Lösungsmittel, bestimmte Umgangsformen und Vorsichtsmaßnahmen erforderlich machen, um gesundheitliche Schäden zu vermeiden. Wenn keine Erfahrungen und Kenntnisse auf diesem Gebiet vorliegen, muß sich jeder, der sich damit beschäftigen will, vorher informieren. So sollen auch die Hinweise in Abschnitt 9 über den Arbeitsschutz als unterstützende Orientierung aufgefaßt werden.

Neben der Oberflächenvorbereitung und -vorbehandlung ist auch die Oberflächennachbehandlung wichtig. Man versteht darunter die Klimatisierung, das Auftragen von Haftvermittlern und/oder die Konservierung von Klebflächen.

In der Amateurtechnik werden weder die Klimatisierung noch das Auftragen von Haftvermittlern auf Fügeteilen große Bedeutung erlangen. Wichtig ist aber die Konservierung von Klebflächen. Das Bedürfnis dazu wird besonders dann bestehen, wenn viele Einzelteile geklebt und zweckmäßig alle auf einmal vorbehandelt, aber nicht am gleichen Tage verarbeitet werden. Als Konservierungsmittel sind einmal die Klebstoffe selbst teilweise verwendbar. Angenehmer vom technologischen Standpunkt, aber qualitativ nicht so gut, ist die Konser-

vierung durch Überkleben der Flächen mit Klebebändern wie Prenaband oder Prenafol (auch unter der Bezeichnung Tesafilm bekannt). Es ist darauf zu achten, daß das Klebeband eng an der Klebfläche anliegt und diese möglichst luftdicht abschließt.

3.2. Werkstofftypische Hinweise

Je nach Art des zu verbindenden Materials und gemäß den späteren Anforderungen werden auch in ihren Eigenschaften sehr verschiedene Klebstoffe zum Einsatz gelangen.
Zunächst sind die Gefügestruktur und die sich daraus ableitenden Eigenschaften zu berücksichtigen. Eine solche sich ableitende Eigenschaft ist z. B. die Benetzbarkeit. Der Klebstoff muß dazu in der Lage sein, die Oberfläche der Fügeteile zu benetzen. Bei den meisten Werkstoffen wird, um unter anderem die Benetzbarkeit zu verbessern, die Oberfläche vorbehandelt (siehe Abschn. 3.1.).
Weiterhin ist man bestrebt, die Haftfestigkeit des Klebstoffs auf einer Oberfläche zu erhöhen. Die einfachste Art ist die Aufrauhung glatter Oberflächen, wie bei Metallen und einigen Plasten, um die Kontaktfläche mit dem Klebstoff zu vergrößern und eine mechanische Verankerung zu begünstigen.

3.2.1. Metalle

Zu den häufigsten Werkstoffen, die in der Amateurtechnik Anwendung finden, gehören die Metalle. Sie sind meistens etwas gefettet und haben teilweise an der Oberfläche strukturelle Änderungen durch Oxydation, Erosion oder Korrosion, die einer Klebverbindung entgegenstehen. Neben dem Entfetten sollte deshalb wenigstens eine mechanische Aufrauhung erfolgen.
Mit geeigneten Klebstoffen wie Epoxid- oder Polyesterharzen ist es möglich, nicht nur technisch anspruchslose Verbindungen herzustellen, sondern sowohl Metalle untereinander als

auch mit anderen Werkstoffen kraftschlüssig zu verbinden. Diese Klebstoffe haben weiterhin den Vorteil, daß sie meist lösungsmittelfrei sind und selten eine offene Wartezeit benötigen, wie das bei lösungsmittelhaltigen Klebstoffen erforderlich ist, wenn nicht Blasen im Klebstoffilm in Kauf genommen werden sollen. In dem Moment, wo wenigstens ein Fügeteilpartner porös ist, lassen sich auch größere Flächen mit lösungsmittelhaltigen Klebstoffen ohne Schwierigkeiten und ohne genaue Beachtung der offenen Wartezeit verbinden. Werden verschiedene Metalle oder Metalle mit anderen Werkstoffen verbunden, dann ist bei eventuell später auftretenden Temperaturbelastungen auf unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten zu achten. Bei spröden Klebstoffen kann sonst infolge starker Temperaturschwankungen eine Trennung in der Klebfuge erfolgen.

3.2.2. Plaste

Neben den Metallen gehören die Plastwerkstoffe zu den am meisten eingesetzten Materialien. Da sie nur teilweise geschraubt, genietet, geschweißt oder anders nach herkömmlicher Art verbunden werden können, ist das Kleben für sie heute das wichtigste Verbindungsverfahren — obwohl es auch hier, z. B. mit dem Polyäthylen oder Polypropylen, Ausnahmen gibt.

Da einige Plaste, wie Piacryl und Polystyrol, sehr stark zur Spannungsrißkorrosion neigen, sollten besonders komplizierte, stark bearbeitete Formteile vor dem Kleben getempert werden. Dazu 2 bis 5 Stunden auf 90 bis 100 °C erwärmen. Damit sich die Teile nicht verziehen, ist eine gute Auflagefläche erforderlich. Man kann an der Luft, günstiger aber in Wasser oder Öl erwärmen. Wichtig ist, daß der Temperaturanstieg und der spätere Temperaturabfall langsam vorgenommen werden.

Die wichtigsten Klebstoffe für thermoplastische Werkstoffe sind die sogenannten Kleblacke. Im allgemeinen reichen eine Säuberung und Entfettung vor dem Klebstoffauftrag aus.

Bei den Duroplasten ist auch nach einer Entfettung und anschließenden Aufrauhung die Festigkeit einer Klebverbindung oft nicht ausreichend. Hier macht sich dann der Einsatz von Epoxidharz-, Polyesterharz- oder Silikonkautschukklebern erforderlich.

3.2.3. Holz

Das Holz einschließlich der daraus hergestellten Folgeprodukte sind leicht zu bearbeitende Werkstoffe, die sich auch relativ sicher mit vielen Klebstoffen verbinden lassen. Zweckmäßig sollten dafür bekannte Leime genommen werden, die sich bei den unterschiedlichsten Temperaturen verfestigen. Der Feuchtigkeitsgehalt ist möglichst niedrig zu halten. Bei Normalklima gelagertes Holz läßt sich sehr gut kleben.
Neben den Leimen sind auch teilweise Kleblacke und Reaktionsklebstoffe geeignet. Es ist aber immer darauf zu achten, daß diese Klebstoffe nicht zu spröde sind, da das Holz bei wechselndem Klima arbeitet und damit unter Umständen die Klebverbindung zerstört werden kann.

3.2.4. Glas

Große Schwierigkeiten entstehen oft beim Kleben von Gläsern, insbesondere dann, wenn die Klebverbindungen Feuchtigkeitsbeanspruchungen unterliegen. Hier ist eine gute Vorbehandlung noch wichtiger als bei den Metallen. Für Montageklebungen werden meistens Epoxidharze oder Silikonkautschuk-Klebstoffe verwendet. Letztere haben auch den Vorteil, daß sie bei einer Verbindung mit Werkstoffen anderer Ausdehnungskoeffizienten die Aufgabe einer flexiblen Zwischenschicht übernehmen können. Besonders beim Glas ist darauf zu achten, daß möglichst sofort nach der Oberflächenvorbehandlung die Klebung erfolgt, damit der Klebstoff auf eine trockene und saubere Oberfläche aufgetragen werden kann.

3.2.5. Gummi, Filz, Leder

Alle drei Werkstoffe sollen zusammen betrachtet werden, weil die hierfür verwendeten Klebstoffe, meist auf Kautschukgrundlage, ähnlich sind. Filz und Leder kann man übrigens mit sehr vielen Klebstoffen verbinden, weil sie durch ihre Porosität den Klebstoff aufsaugen und nach der Verfestigung bzw. Härtung eine mechanische Verankerung vorliegt. Bei allen drei Werkstoffen ist auf die Sauberkeit, insbesondere Fettfreiheit der zu klebenden Flächen zu achten. Jedoch spielt auch hier die Art der Beanspruchung die entscheidende Rolle. So ist unter Umständen sowohl beim Gummi als auch beim Leder eine schwache Aufrauhung zweckmäßig.

3.2.6. Beton

Industriell geht man dazu über, viele Verbindungen, die früher durch Schrauben, Nieten oder Verankern gebildet wurden, zu kleben, wenn dadurch ökonomischere Lösungen möglich sind. Dabei werden in den letzten Jahren auch kraftschlüssige Betonverbindungen hergestellt. Bisher wurden für solche Zwecke ausschließlich Epoxidharze verwendet, die am ehesten allen Anforderungen entsprechen. Polyesterklebstoffe sind, wie viele andere Klebstoffe, auch nicht für Beton-Beton-Verbindungen oder Klebungen zwischen Beton und anderen Werkstoffen geeignet, obwohl das von einigen Autoren behauptet wird.

Auch beim Beton ist, ähnlich wie bei anderen Werkstoffen, eine Klebflächenvorbereitung und eventuell -vorbehandlung notwendig. Von der Deutschen Bauakademie, Institut für Kunststoffe, sind Untersuchungen und Versuche mit dem Ziel durchgeführt worden, einige umständliche Verbindungsverfahren durch Kleben abzulösen. Dabei wurde als ein Ergebnis festgestellt, daß die „Zementschlempe“ (oberste Schicht des abgebundenen Betons) von der Betonoberfläche mit Stahlbürste oder ähnlichem entfernt werden muß. Der dabei anfallende Staub ist gründlich abzusaugen.

4. Übersicht, Charakteristik und Verarbeitung gebräuchlicher Klebstoffe

Es gibt z. Z. in der DDR eine sehr große Anzahl verschiedener Klebstoffe. Leider werden dabei für Klebstoffe gleicher Basis die unterschiedlichsten Namen und Begriffe benutzt. Diese Erscheinung fällt dann besonders auf, wenn man sich das Sortiment verschiedener Bezirke ansieht. In den nachfolgenden Betrachtungen sind die Klebstoffe nach der chemischen Bezeichnung ihrer Rohstoffgrundlage geordnet.

4.1. Epoxidharze

Wie bereits in Abschnitt 1.1.8. zum Ausdruck gebracht, werden Epoxidharze auch in unvernetzter Form als Klebstoff angewandt. Da man mit diesen Produkten sehr vielseitige Klebungen ausführen kann und auch hervorragende Festigkeiten erzielt, sind viele Sorten im Handel. Für den Bevölkerungsbedarf wird von einschlägigen Geschäftigen der Typ *Epasol EP 11* angeboten. Da aber sowohl die Arbeitsgemeinschaften der Betriebe als auch Sportvereine andere Sorten beziehen, soll hier auf die wichtigsten Arten eingegangen werden.
Grundsätzlich ist noch zu sagen, daß Epoxidharze zähflüssige bis feste Produkte sind, die sowohl Epoxi- als auch OH-Gruppen enthalten, mit denen sie mit Polyaminen bzw. Säureanhydriden reagieren können. Wegen ihres zum Teil sehr unterschiedlichen Aufbaus und durch die Wahl des Härters erhält man eine außerordentlich große Variationsbreite der Eigenschaften. Sie gehören zu den vielseitigsten und wandelbarsten Klebstoffen überhaupt. Wie aus den nachfolgenden Betrachtungen zu entnehmen ist, kann man sie mit einer Vielzahl anderer Produkte kombinieren, was in den nächsten Abschnitt noch näher zu betrachten sein wird.
Der größte Nachteil dieser Produkte liegt in ihrer stark gesundheitsschädigenden Wirkung bei unsachgemäßem Um-

gang. Für die anwendende Industrie sind die Verhaltensmaßregeln in der Arbeitsschutzanordnung 726a zusammengefaßt. Bevor man also mit diesen Produkten umgeht, empfiehlt es sich, den Abschnitt 9. über den Arbeitsschutz gewissenhaft zu studieren.

4.1.1. Epasol EP 11

Epasol EP 11 ist ein Zweikomponentenklebstoff von mittel- bis hochviskoser Konsistenz. Er ist mit Füllstoffen angereichert und von weißer Farbe. Wegen der Konfektionierung (Harz- und Härtertube je 30 g) ist der Klebstoff besonders für den Kleinverbraucher geeignet.

Verarbeitung

Nachdem die Oberflächen der zu klebenden Teile vorbereitet und vorbehandelt worden sind, ist der Klebstoff anzurühren. Da das Mischungsverhältnis 1:1 beträgt ($\pm$10 Gew. %), wird aus der Harz- und Härtertube je ein Strang gleicher Länge

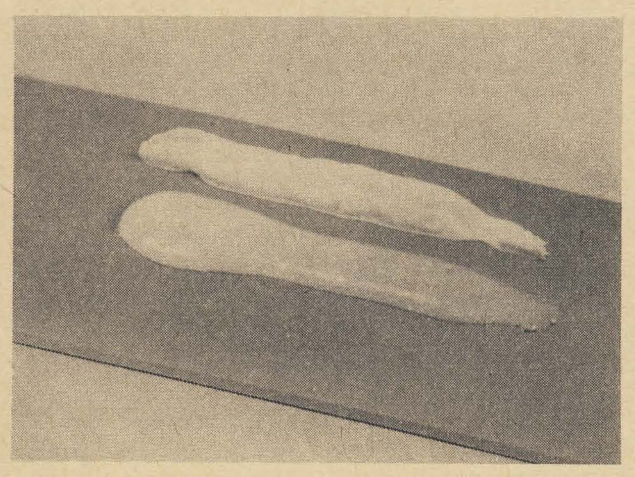


Bild 4.1 Klebstoffdosierung beim *Epasol EP 11*

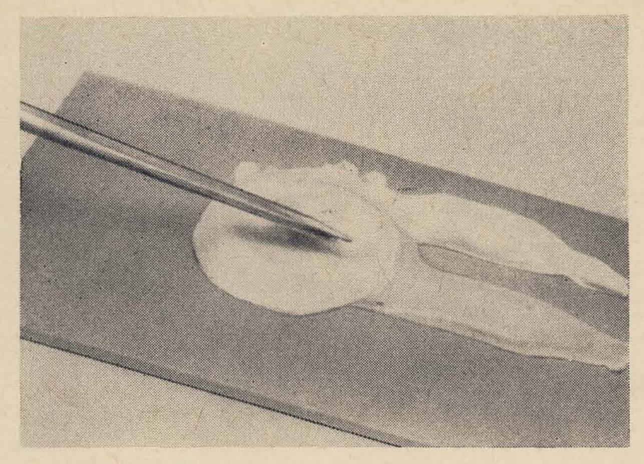


Bild 4.2 Mischen des Klebstoffs bis zur Homogenität

auf einer Fliese, Glas- oder Plastplatte parallel zueinander herausgedrückt.

Zum Mischen wird zweckmäßig ein flacher Spatel genommen, der entweder gekauft oder selbst aus Plaste oder Blech angefertigt ist. Die verwendeten Hilfsmittel und -werkzeuge müssen sauber und trocken sein. Innerhalb der Gebrauchsdauer von 60 Minuten (für einen 30-g-Ansatz) muß der Klebstoff verarbeitet werden. Dazu sind beide Fügeteile dünn mit dem angerührten bzw. gemischten Klebstoff einzustreichen. Nach dem Klebstoffauftrag erfolgt das Fügen und, wenn erforderlich, ein Fixieren der Teile. Ein besonderer Preßdruck ist nicht erforderlich, jedoch wirkt ein Kontaktdruck von etwa 1 kp/cm^2 vorteilhaft auf die spätere Festigkeit. Aus der Klebfuge hervortretender Klebstoff ist sofort zu entfernen.

Zur Härtung ist eine Temperatur von mindestens 15 °C erforderlich. Je höher die Temperatur, desto schneller erfolgt die Härtung, wie aus nachstehender Übersicht zu entnehmen ist. Es schadet dem Klebstoff nicht, wenn die Härtungsdauer bei höherer Temperatur um 100% überschritten wird.

Tabelle 4.1
Abhängigkeit der Härtungsdauer von der Temperatur bei Epasol EP 11

Temperatur (°C)	Härtungsdauer (h)
15	48
20	24
60	8
80	3
100	1

Anwendung

Da der VEB Asol-Chemie den Klebstoff so herstellt, daß der spätere Klebfilm recht spröde ist, ist der Einsatz für dynamisch beanspruchte Klebverbindungen gründlich zu prüfen, was nicht nur für den Amateur Schwierigkeiten mit sich bringt. Die Zugscherfestigkeit einer Aluminium-Aluminium-Probe nach TGL 14 910 Bl. 1 und 2 beträgt 125 ± 25 kp/cm². Die Winkelschälfestigkeit ist sehr gering. Der Klebstoff eignet sich zum Verbinden von Teilen aus Eisen, Stahl, Aluminium und anderen Metallen, Duroplasten wie Hartpapier und Hartgewebe, Porzellan, Steingut, Keramik, Beton, Glas und Holz. So können z. B. Schellen für elektrische Leitungen auf Putz, Mauerwerk oder Beton, Typenschilder auf Geräten, Distanzbuchsen an Gehäusen und vieles andere geklebt werden. *Epasol EP 11* gehört gemäß ASAO 850/1 zur Gefahrenklasse A III, das heißt, es ist brennbar (mit einem Flammpunkt über 55 °C) und mit Wasser nicht mischbar. Die angegebene Haltbarkeit von 6 Monaten ist allerdings sehr niedrig.

4.1.2. Epilox EGK 19

Es ist das am häufigsten eingesetzte modifizierte Epoxidharz, das, wie auch die anderen Epilox-Typen, vom VEB Leuna-Werk „Walter Ulbricht“ hergestellt wird. Bei 20 °C beträgt die Viskosität 1700 bis 3000 cP. Wegen seines transparenten

bernsteinfarbenen Aussehens ist es in dünnen Schichten sehr unauffällig, insbesondere dann, wenn man es mit *Härter 3*, einem Polyamin, verarbeitet. *Epilox EGK 19* hat eine Dichte von 1,138 g/cm³ und einen Flammpunkt über 55 °C, so daß es zur Gefahrenklasse A III gehört.
Dieses Epoxidharz kann neben *Härter 3* auch mit *Härter 8*, einem aromatischen Aminoamid, in Lösung kalt gehärtet werden.

Epilox EGK 19/Härter 3
Das Mischungsverhältnis von Harz zu Härter beträgt 100:11 Masseteile (MT). Es ist darauf zu achten, daß dieses Mischungsverhältnis möglichst genau eingehalten wird. Die Gebrauchsdauer ist relativ niedrig und beträgt 35 bis 45 Minuten bei einem 100-g-Ansatz bei 20 °C. Da die Reaktion exotherm ist, erwärmt sich der Ansatz ziemlich stark. Je größer die eingerührte Menge und je höher die Temperatur der beiden Komponenten, desto kürzer die Gebrauchsdauer und desto stärker die Reaktion. Bei einer kleinen Menge hat man eine völlig ausreichende Verarbeitungszeit. Unter 10 bis 15 °C kann man *Epilox EGK 19/Härter 3* nicht verarbeiten. Ähnlich wie beim *Epasol EP 11* kann auch *Epilox EGK 19/Härter 3* bei höherer Temperatur gehärtet werden. Die Bedingungen sind dabei ungefähr die gleichen. Zum Einrühren selbst eignen sich Gefäße aus Polyäthylen, PVC-weich oder Gummi, aus denen gehärtete Klebstoffreste leicht entfernbar sind. Über die Einfärbbarkeit mit Farbpigmenten oder Farbpasten sowie die Zugabe von Füllstoffen werden in Abschnitt 7. nähere Ausführungen gemacht.

Wichtig ist, daß die zu klebenden Flächen nach der Vorbereitung und Behandlung gut getrocknet wurden, da das System bei der Verarbeitung relativ empfindlich gegen Luftfeuchtigkeit und feuchten Untergrund ist. Der Klebstoffauftrag sollte auf beide Fügeteile erfolgen. Die Klebfugendicke ist dabei mit 0,05 bis 0,15 mm recht dünn zu halten. Nach dem Klebstoffauftrag kann sofort das Fügen und Fixieren erfolgen.

Bei dem System *Epilox EGK 19/Härter 8* ist ein Mischungsverhältnis von 100:45 MT ungefähr einzuhalten. Es ist ange-

nehm, daß das Mischungsverhältnis nicht so kritisch wie mit dem *Härter 3* ist. Die Viskosität der Harz/Härter-Mischung ist höher als bei *EGK 19/Härter 3*. Die Gebrauchsdauer ist mit 100 Minuten ebenso wie die Aushärtung länger. Bei der Reaktion treten keine so hohen Temperaturspitzen auf. Das Gemisch härtet unter 5 bis 10 °C nicht mehr. Es braucht nicht so genau auf einen trockenen Untergrund geachtet zu werden. Will man die Flexibilität des gehärteten Harzes erhöhen, kann man den *Härter-8*-Anteil bis auf 80 MT erhöhen. Dabei ist zu beachten, daß mit zunehmendem Härteranteil die Wärmebeständigkeit sinkt. Auf Grund der rotbraunen Farbe des *Härter 8* eignen sich Mischungen damit nicht zum Einfärben für helle Farbtöne. Da der *Epilox-Härter 8* ein schwerflüchtiges Lösungsmittel enthält, sollen die beiden mit dem fertig gemischten Klebstoff bestrichenen Fügeteile etwa 30 Minuten zum Vortrocknen liegen. Danach ist das Lösungsmittel so weit verdunstet, daß ein Fügen und Fixieren erfolgen kann. Zur Beschleunigung des Härteprozesses kann nach 24stündiger Lagerung bei Raumtemperatur 2 Stunden bei 90 °C nachgehärtet werden.
Härter 8 ist weniger toxisch als *Härter 3*. *Härter 8* gehört zur Gefahrenklasse A II und hat einen Flammpunkt über 21 °C, *Härter 3* hat die Gefahrenklasse B III und ist also mit Wasser mischbar. Das im *Härter 8* enthaltene Lösungsmittel gehört zur Gruppe III und ist somit wenig oder nicht gesundheitsschädigend. *Epilox EGK 19* mit *Härter 3* oder *Härter 8* eignet sich, ähnlich wie *Epasol EP 11*, auch zur Verbindung von Metallen, einigen Thermoplasten wie Piacryl oder Polykarbonat, Duroplasten, Porzellan, Steingut, Keramik, Beton, Glas und Holz miteinander und untereinander. Dabei ist unter Umständen ein elastifiziertes Harz durch einen *Härter-8*-Überschuß von Vorteil. Bei saugenden porösen Materialien ist entweder eine separate Porenversiegelung mit Klebstoff oder ein füllstoffhaltiges Harz erforderlich. *Epilox EGK 19* hat sich unter anderem in der Bauelemente- und Nachrichtentechnik zum Befestigen kleiner Teile, in der Schaltelektronik bei der Montage von Einbauten und vielen anderen Anwendungen sehr gut bewährt.

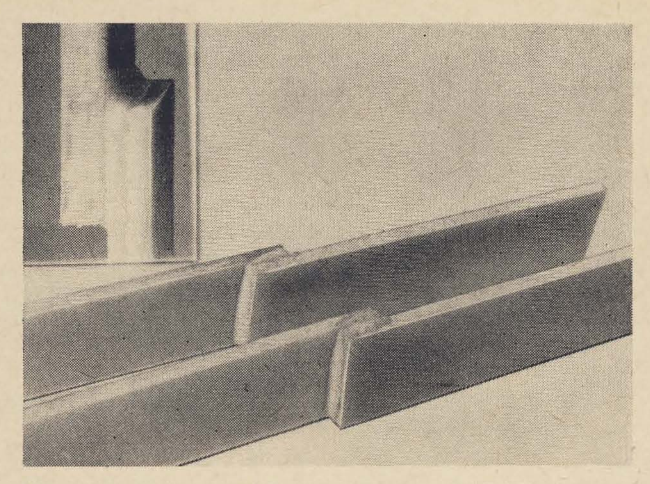


Bild 4.3 Prüfkörper, geklebt in Anlehnung an TGL 14 910

Ähnlich wie beim *Epasol EP 11* ist auch *Epilox EGK 19* möglichst nicht auf Schälung zu beanspruchen. Die Zugscherfestigkeit beträgt bei einer Aluminium-Aluminium-Klebverbindung (Bild 4.3) mit

Härter 3 etwa 145 kp/cm^2 und mit
Härter 8 etwa 130 kp/cm^2.

Epilox EGK 19, Härter 3 und *Härter 8* sind bei trockener Lagerung unter 25 °C mindestens 1 Jahr haltbar.

4.1.3. Epasol EP 2

Epasol EP 2 ist ähnlich *Epasol EP 11* ein füllstoffhaltiger, reaktionsfähiger Zweikomponentenklebstoff. Die Harzkomponente (Teil A) ist rosa, die Härterkomponente (Teil B) ist grün angefärbt. Die gehärtete Mischung ist von graubrauner Farbe mit einer Dichte von etwa 1,5 g/cm^3. Harz und Härter sind mittelviskos, lösungsmittelfrei und zeigen ein geringes thixotropes Verhalten. Das Mischungsverhältnis beträgt von

Teil A zu Teil B 4:1. Die Gebrauchsdauer eines 100-g-Ansatzes beträgt bei 20 °C etwa 60 Minuten. Wichtig ist, daß vor der Entnahme die Masse in den Originalgefäßen gut umgerührt wird, da die Füllstoffe zum Sedimentieren neigen. Die maximale Mischungstoleranz beträgt ± 10 Gew. %. Nach dem Klebstoffauftrag auf die vorher behandelten Klebflächen erfolgt das Fügen. Dabei ist ein leichter Kontaktdruck empfehlenswert. Falls erforderlich, sollten beide Fügeteile fixiert werden, um ein Verrutschen zu vermeiden. *Epasol EP 2* ist zwar ein kalthärtendes Harz, das man aber auch warm oder heiß, ähnlich wie *Epasol EP 11*, härten kann. Nach einer Härtung von 24 Stunden bei 20 °C ist die Klebstelle belastbar. Die minimale Härtungstemperatur beträgt 15 °C. Die Zugscherfestigkeit nach TGL 14 910 Bl. 1 und 2 beträgt, an Aluminium-Aluminium-Probekörpern gemessen, 175 ± 35 kp/cm². Die Winkelschälfestigkeit ist sehr gering. Der Klebstoff ist nach der ABAO 850/1 in die Gefahrenklasse A III einzustufen, hat also einen Flammpunkt über 55 °C. Die Konfektionierung des Harzes erfolgt in Blechdosen (je 1 kg), die des Härters in Dosen (je 0,25 kg). Der Hersteller garantiert eine Haltbarkeit von 6 Monaten ab Herstellungsdatum in verschlossenen Behältern bei 0 bis 20 °C.

Durch den Füllstoffzusatz kann man auch etwas dickere Klebfugen mit noch guten Festigkeitswerten herstellen. Dieser Klebstoff kann zur Verbindung von Werkstoffen aus Metallen, Duroplasten, Holz oder Glas benützt werden.

4.1.4. Epasol EP 30

Hierbei handelt es sich um ein hochviskoses, stark füllstoffhaltiges und lösungsmittelfreies Harz auf der Basis von Epoxidharzen (A — Komponente). Als Härter wird ein teermodifiziertes füllstoffhaltiges Polyamin geliefert (B — Komponente).

Epasol EP 30 wird als Kleb-, Spachtel- und Beschichtungsharz für die vielfältigsten Zwecke eingesetzt. Besonders hat sich dieser Spachtel beim Kleben von Beton (oder Mauer-

werk) mit sich selbst oder mit anderen Werkstoffen wie Stahl, Aluminium, oder Duroplaste, z. B. bei Konsolen, Einsätzen von Befestigungsankern, Befestigen von Halterungen für die verschiedensten Zwecke bewährt.

Wegen der hohen Zähigkeit dieser Spachtelmasse ist nur bei solchen Teilen, die bei Überkopfklebungen mehr als 30 g/cm² Klebfläche und an senkrechten Flächen über 10 g/cm² Klebfläche wiegen, eine zusätzliche Fixierung erforderlich. Der hohe Füllstoffgehalt des Klebstoffs und die nicht so hohen Festigkeitsforderungen der Bauindustrie gestatten Klebfugen bis etwa 10 mm Dicke.

Vom Entwickler, der Deutschen Bauakademie, werden für eine einwandfreie Klebverbindung folgende Voraussetzungen gefordert [27, 28]:

- gereinigte Klebflächen; dabei stören geringe Mengen Schalungsöl nicht, die Zementschlempe ist jedoch zu entfernen.
- Grundierung des Betons, Stahls oder sonstiger Materialien mit *EGK 19* und *Härter 3*. Der VEB Asol-Chemie stellt weitere Grundierungsmittel auf der Basis von Epoxidharzen her, die speziell für feuchten Untergrund (Grunddierung F) bzw. zur Verarbeitung bei tiefen Temperaturen (Grundierung T) bis etwa −5 °C geeignet sind:
  Grundierung F = EGK 19 + Härtergemisch F
  wie 100:35,5 MT,
  Grundierung G = EGK 19 + Härtergemisch T
  wie 100:37,5 MT.
- Beide Klebstoffkomponenten sind intensiv zu mischen. Dabei haben sich für kleinere Mengen elektrische Ständerbohrmaschinen besser als elektrische Handbohrmaschinen mit geeignetem Rührer bewährt. Die Drehzahl sollte je nach Rührerform möglichst niedrig sein.

Epasol EP 30 wird mit drei verschiedenen Härtern angeboten.

Epasol EP 30 N: Teil A: Teil B/N wie 3:1 MT;
dieser Spachtel muß bei Temperaturen

über 15 °C und bei einer rel. Luftfeuchte unter 80% verarbeitet werden.

Epasol EP 30 F: Teil A: Teil B/F wie 1,5 bis 2:1 MT; man kann das Gemisch bei Temperaturen über 10 °C verarbeiten. Eine feste Verbindung wird durch das weniger feuchtigkeitsempfindliche Aminopolyamid (siehe auch unter 4.1.2. *Epilox EGK 19*) bei hoher Luftfeuchte und feuchtem Beton erhalten.

Epasol EP 30 T: Teil A : Teil B/T wie 1,5 bis 2:1 MT, diese Modifikation des EP 30 N härtet auch noch bei Temperaturen zwischen 0 und —5 °C. Die Komponenten sind aber bei Zimmertemperatur zu mischen, da sonst die Zähigkeit zu groß wird.

Die Härtezeit beträgt bei 15 °C für *EP 30 N* einen und für *EP 30 F* und *EP 30 T* drei Tage. Bei 0 °C braucht *EP 30 T*

Tabelle 4.2
Garantierte Festigkeiten von mit Epasol EP 30 geklebten Stahl-Beton-Verbindungen

Metall	Beton	Beanspruchung	Kurzzeitbruchfestigkeit (kp/cm²)	Zulässige Spannung (kp/cm²)
Stahl St 38	B 225	Scherung	25	13
	B 300		30	16
	B 450		40	21
Stahl St 38	B 225	Zug	25	13
	B 300		35	19
	B 450		40	21
Stahl St 38	B 225	Biegezug	65	35
	B 300		90	48
	B 450		100	53

14 Tage zur Härtung, kann aber schon früher gering belastet werden.

Die Gebrauchsdauer eines 100-g-Ansatzes beträgt bei *EP 30 N* und *EP 30 T* 60 Minuten und bei *EP 30 F* 120 Minuten (20 °C). Die Deutsche Bauakademie gibt folgende Festigkeiten an [27]:

Die Festigkeiten sind also nicht nur von der Klebflächenvorbereitung und -vorbehandlung abhängig, sondern werden auch in starkem Maße durch die Betongüte beeinflußt.

4.1.5. Epilox EK 10

Dieser Klebstoff ist ein gelblichweißes, den Härter enthaltendes, pulverförmiges, präkondensiertes Epoxidharz. Im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen Produkten ist *Epilox EK 10* ein heiß härtendes Harz, das einen Erweichungspunkt zwischen 70 °C und 80 °C hat. Der Klebstoff eignet sich zur Verbindung von Metallen wie Eisen, Stahl, Aluminium, Buntmetallen, keramischem Material wie Porzellan, Steingut und ähnlichem, aber auch duroplastischen Werkstoffen wie Phenol- und Melaminharzen.

Die erzielten Festigkeiten sind höher als bei kalthärtenden Epoxidharzen. So beträgt z. B. die Zugscherfestigkeit einer Aluminium-Aluminium-Verbindung nach TGL 14 910 zwischen 200 und 400 kp/cm². Die Schälfestigkeit, die bei kalthärtenden Harzen in der Regel sehr niedrig ist, beträgt hier etwa 2 bis 3 kp/cm, nach gleicher TGL geprüft.

Entsprechend dem besonderen Charakter dieses Klebstoffs ist auch die Technologie der Verarbeitung anders als bei kalthärtenden Harzen. Die Werkstoffoberflächen werden in der üblichen Weise vorbereitet und vorbehandelt. Danach sind die zu klebenden Teile auf 130 bis 160 °C anzuwärmen. Auf die heißen Flächen ist der Klebstoff aufzustreuen, der sofort schmilzt und die Oberfläche benetzt. Die Teile werden nun gefügt, der überschüssige Klebstoff abgewischt und die Härtung unter Kontaktdruck bei mindestens 130 °C hergestellt.

Die Klebfugendicke sollte nach Angaben des Herstellers 0,05 bis 0,15 mm betragen. Dafür sind ungefähr 140 bis 160 g Klebstoff je m^2 erforderlich. Die Härtezeit ist von der Temperatur in der Klebfuge abhängig. Die nachstehende Übersicht gibt die Verhältnisse wieder:

Tabelle 4.3
Abhängigkeit der Härtungsdauer von der Temperatur bei Epilox EK 10

Temperatur (°C)	Härtungsdauer (h)
130	18
150	5
160	3
180	2

Es handelt sich um Minimalzeiten, die ohne Schädigung des Klebstoffs um 100% überschritten werden können. Wie die Beschreibung der Anwendung zum Ausdruck bringt, ist dieser Klebstoff technologisch schwerer zu verarbeiten und damit für den Amateursektor weniger geeignet.

4.1.6. Eigenschaften der mit Epoxidharzen hergestellten Klebverbindungen

Mit kalthärtenden Epoxidharzen geklebte Verbindungen sollen in der Regel nicht über 80 °C belastet werden; denn mit steigender Temperatur nimmt die Festigkeit ab. Da die Schälfestigkeit dieser Produkte nur sehr gering ist, sind die Teile so zu konstruieren, daß eine Schälbeanspruchung weitestgehend ausgeschlossen wird. Die einfachste Maßnahme besteht darin, daß eine Zusatzschraube oder ein Hohlniet mit verwendet wird. Weitere Möglichkeiten bringt Abschnitt 7.

Mit heißhärtenden Harzen hergestellte Verbindungen können, soweit das die Fügeteile zulassen, bis etwa 140 °C belastet werden.

Problematischer ist die Frage nach der chemischen Beständigkeit von Klebverbindungen. Im Gegensatz zu einem massiven gegossenen Körper sind Klebstoffilme speziell an den Grenzflächen gegen die verschiedensten Einflüsse empfindlich. Eine Möglichkeit, solche Einflüsse zu ermitteln, besteht darin, daß man einen vorausgewählten Werkstoff klebt und die Festigkeit nach der Härtung sowie nach einer bestimmten Zeit unter Mediumeinfluß prüft. Tritt dabei nach 30 Tagen kein Festigkeitsabfall ein, kann die Verbindung gegenüber dem gewählten Medium als stabil bezeichnet werden.

In der nachstehenden Tabelle sind die Auswirkungen chemischer und atmosphärischer Einflüsse für kalt- und heißhärtende Epoxidharze dargestellt. Als Fügeteilwerkstoff wurde ein Duraluminium gewählt.

Tabelle 4.4 Chemische Beständigkeit von mit Epoxidharzen hergestellten Aluminium-Aluminium-Klebverbindungen

Medium	Kalthärtend	Heißhärtend
Aceton	—	+
Ammoniak 10%ig	O	
Alkohol 10%ig	O	+
Benzin	+	+
Benzol	+	+
Dieselöl	+	+
Essigsäure 10%ig	O	
Formalin 30%ig	O	
Freibewitterung	O	O
Kalilauge 10%ig	O	
Kochsalzlösung gesättigt	O	O
Perchloräthylen	—	—
Trichloräthylen	—	—

\+ = beständig
O = bedingt beständig
— = unbeständig

Die hier gemachten Angaben sind weitestgehend von einer guten Vorbereitung und -behandlung der Klebflächen abhängig. Ausführliches findet man dazu in der entsprechenden Literatur [23, 26, 27].

4.2. Polyester

Besonders in den letzten zwei Jahren wurden die ungesättigten Polyester in der Amateurtechnik immer häufiger angewandt. Dabei ist ihre Bedeutung in der Gieß- und Laminiertechnik erheblich größer als in der Klebtechnik. Trotzdem werden sie wegen ihrer Klebfreudigkeit und ihres niedrigen Preises gern als Klebstoff eingesetzt.

Bei den kalthärtenden Polyestern handelt es sich eigentlich um ein Dreikomponentensystem: das eigentliche Harz, ein Peroxid und einen für die Kalthärtung erforderlichen Beschleuniger. In der Industrie und in der Amateurpraxis wird der Beschleuniger oft, wie beim Hobbyplast, dem Harz bereits zugesetzt, lange bevor die Verarbeitung erfolgen soll.

4.2.1. Polyester G

Dieses Produkt ist ein hochreaktives Standardharz, das durch seinen Styrolgehalt von 28 bis 33% relativ niedrig viskos ist. Es wird wie auch alle anderen Polyesterharze vom VEB Kombinat Chemische Werke Buna hergestellt.

Zur Härtung setzt man dem Harz etwa 2% Zyklohexanonperoxidpaste und 2% Kobaltbeschleuniger zu. Nach der Zugabe des Peroxids ist dieses gründlich in das Harz einzurühren, bevor der Beschleuniger zugegeben wird! Der Beschleuniger und das Peroxid dürfen nicht in konzentrierter Form miteinander in Berührung kommen, da sonst ein explosionsartiger Zerfall des Peroxids auftreten kann. Peroxide müssen an kühlen Stellen, an die das Sonnenlicht nicht gelangen kann, aufbewahrt werden. Die Härtung erfolgt bei Raumtemperatur in etwa 24 Stunden. Die Gebrauchsdauer beträgt etwa 15 bis 20 Minuten, je nach Ausgangstemperatur des Harzes. Bei 100 g eingerührtem Harz steigt die Temperatur auf etwa 150 °C an. Polyesterharze eignen sich, ähnlich wie Epoxidharze, zum Verbinden vieler Werkstoffe. Von Nachteil ist ihre starke Schrumpfung, die insbesondere bei festen und

spröden Fügewerkstoffen beachtliche Spannungen entstehen lassen kann, die unter Umständen eine Zerstörung der Klebverbindung bewirken. Aus diesem Grund wird Polyester lieber mit Füllstoffen angereichert als Klebstoff verarbeitet. Die Füllstoffe setzen die Schrumpfung herab und reduzieren damit die Schrumpfspannung in der Klebfuge. Polyesterharze eignen sich nicht zum Kleben von Beton, da unter alkalischem Einfluß eine Verseifung des Esters erfolgen kann.

4.2.2. Mökodur L 5001

Dieses Erzeugnis wird als Zweikomponenten-Produkt hergestellt. Im flüssigen Harz ist der Beschleuniger enthalten. In dem pulverförmigen Härter hat der Hersteller, das Schuhkombinat „Banner des Friedens", Werk Mölkau, den Katalysator eingemischt. Für den Verarbeiter ergibt sich dadurch ein einfaches Mischungsverhältnis Harz zu Härter wie 1:1 Gewichtsteile. Man kann bei diesem Produkt die Härtermenge bis auf das Doppelte erhöhen, bekommt dabei aber eine kürzere Gebrauchsdauer von etwa 10 bis 15 Minuten gegenüber 45 bis 60 Minuten und eine höhere Viskosität. Der eingerührte Klebstoff wird auf eine oder besser auf beide Klebflächen dünn gestrichen, und die Teile werden danach fixiert. Nach 24 Stunden ist der Klebstoff gehärtet.
Folgende Werkstoffe lassen sich kleben: Aluminium, Eisen, Stahl, Buntmetalle wie Zink, Kupfer, Messing, Phenoplaste, Polyester, Glakresit, Glas, Ziegelstein, Fliesen, Keramik, Natur- und Kunststein, Holz.

4.2.3. Hobbyplast

Unter diesem Begriff ist ein *Polyester G* zu verstehen, das den Beschleuniger enthält sowie die übrigen zum Kleben, Gießen und Laminieren erforderlichen Bestandteile. Für die Klebtechnik wird neben dem Harz nur das Zyklohexanonperoxid benötigt, das in einem Anteil von 1 bis 3% zugesetzt wird.

Wegen des unterschiedlichen Peroxidzusatzes ist die Gebrauchsdauer zwischen 15 und 60 Minuten je nach Erfordernis „einstellbar". Sollte sich beim Peroxid ein Bodensatz gebildet haben, ist dieser gründlich aufzurühren (eventuell Flasche in heißes Wasser stellen). Im übrigen sind die gleichen Hinweise wie bei *Polyester G* zu beachten. Der Hersteller bzw. Lieferant von *Hobbyplast* ist der VEB Spezialchemie Leipzig, der auch Broschüren über die Verarbeitung herausgegeben hat.

4.3. Acrylate

Bei den Klebstoffen auf Acrylatbasis muß man zwischen chemisch reaktionsfähigen und nichtreagierenden unterscheiden. Beide Arten werden hauptsächlich bei Piacryl-Piacryl-Verbindungen oder Klebungen zwischen Piacryl und anderen Werkstoffen angewandt.

4.3.1. Kalloplast R

Dieser Klebstoff besteht aus 2 Komponenten, einer Flüssigkeit und einem Pulver, denen ein Katalysator und Beschleuniger zugemischt worden ist. Die Grundstoffe beider Komponenten sind Ester der Methacrylsäure, die durch Polymerisation aushärten können.

Das Mischungsverhältnis beträgt 1 g Pulver zu 2 cm^3 Flüssigkeit bzw. 4 cm^3 Pulver zu 5 cm^3 Flüssigkeit. Sofort nach dem Zusammengeben beider Komponenten ist gut zu rühren. Nach 2 bis 4 Minuten Rührzeit wird das zunächst trübe Gemisch klar, und der Klebstoff ist verwendungsfähig. Die Gebrauchsdauer beträgt bei Raumtemperatur etwa 20 Minuten. Durch die exotherme Reaktion erwärmt sich die Mischung recht stark. Wird mehr von der pulverförmigen Komponente genommen, sinkt die Gebrauchsdauer. Erhöht man den Anteil der Flüssigkeit, verlängert man diese Zeit. Eine besondere Druck-

oder Temperaturanwendung ist bis auf den Kontaktdruck nicht erforderlich. Nach etwa 2 Stunden ist die Härtung so weit fortgeschritten, daß bereits eine leichte Belastung erfolgen kann.

Die zum Anrühren des Klebstoffs verwendeten Hilfsmittel sollen aus Polyäthylen, Glas, Porzellan oder nichtrostenden bzw. -oxydierenden Metallen bestehen, um Störungen im Reaktionsablauf zu vermeiden. Besonders Kupfer und Messing können eine inhibierende Wirkung ausüben. Sowohl das Pulver als auch die Flüssigkeit sind brennbar. Letztere gehört der Gefahrenklasse A I an.

Kalloplast R eignet sich zum Verbinden von Piacryl, Polystyrol, Cellulosenitrat, Celluloseacetat, PVC, Epoxid-, Polyester- und Phenolharzen mit Metallen und keramischen Stoffen. Die starke Schrumpfung von etwa 20% ist zu beachten.

Benutzte Geräte mit angetrockneten Klebstoffresten lassen sich gut mit Aceton reinigen.

4.3.2. Piaflex LT 30, Epasin H 1243, Epasin H 1207

Bei allen drei Produkten handelt es sich um Kleblacke. *Piaflex LT 30* wird vom VEB Düngemittelkombinat, Betrieb Stickstoffwerk Piesteritz, hergestellt und ist eigentlich ein Lackrohstoff, der aber durch sein gutes Haftvermögen auf verschiedene Werkstoffe sehr gut als Klebstoff eingesetzt werden kann. Sollte die Viskosität zu hoch sein, ist sie leicht durch Zugabe von Aceton, Toluol oder Äthylacetat herabzusetzen. Ähnlich von der Zusammensetzung her sind auch die Klebstoffe *Epasin H 1243* und *H 1207* aufgebaut, die der VEB Asol-Chemie herstellt. Die Viskosität kann ebenfalls durch einen Zusatz von Äthylacetat herabgesetzt werden.

Alle drei Klebstoffe sind auf die beiden zu klebenden Fügeteile aufzutragen, kurz abdunsten zu lassen (etwa 2 Minuten) und zu fixieren. Es ist für einen guten Kontaktdruck zu sorgen. Neben Piacryl kann man mit diesen Klebstoffen auch PVC,

Polystyrol, bei geringen Ansprüchen auch Metalle und Duroplaste kleben.

4.4. Silikonkautschuk

In der Industrie ist es seit langem gebräuchlich, Silikonkautschuke in Verbindung mit geeigneten Vernetzungsmitteln als Klebstoffe einzusetzen. Eine Komponente enthält den Silikonkautschuk, Füllstoffe und eventuell Verdünnungsmittel, die andere Vernetzungsmittel und/oder Katalysatoren. Solche Systeme sind z. B. *NV 348* mit *Vernetzer 11*. Näheres kann aus der speziellen Literatur [29] entnommen werden.

Für die Amateurtechnik sind diese Zweikomponentenkautschuksysteme unzweckmäßig. Vom VEB Chemiewerk Nünchritz, Institut für Silikon- und Fluorkarbonchemie Radebeul, sind aus diesem Grund kalt vernetzende Einkomponentenpasten, z. B. *Cenusil*, entwickelt worden. Die Konfektionierung erfolgt in Tuben zu 80 g, die in einschlägigen Geschäften erhältlich sind. Zu der Tube wird eine Polyäthylendüse mitgeliefert, die auf den geöffneten Tubenverschluß aufgesetzt werden kann, wenn man kleine Mengen entnehmen will.

Cenusil ist eine Einkomponenten-Klebe- und Dichtungsmasse, die am besten bei Raumtemperatur durch den Einfluß der Luftfeuchtigkeit härtet. Der entstehende Klebfilm hat folgende Eigenschaften:

- ausgezeichnete Temperaturbeständigkeit von —55 bis +200 °C;
- hohe Elastizität;
- relativ geringe mechanische Festigkeiten;
- gute Witterungsbeständigkeit;
- gutes elektrisches Isoliervermögen, auch über große Temperaturbereiche;
- im vernetzten Zustand physiologisch unbedenklich.

Cenusil haftet sehr gut auf Eisen, Aluminium und anderen Metallen, Duroplasten wie Phenolharzen, Aminoplasten, Epoxidharzen und Polyestern sowie — für viele Zwecke ausrei-

chend — auf die meisten Thermoplaste. Auch gegenüber Glas, Keramik, Porzellan, Steingut, Beton und Holz zeigt es sehr gute Adhäsionsneigungen.

Keine bzw. nur unbedeutende Haftung haben Pasten dieser Art auf Polyäthylen, Polypropylen, Polytetrafluoräthylen, Polyoxymethylen (auch Polyazetal oder Polyformaldehyd genannt) und Polyäthylenglykolterephthalat.

Wenn die Oberfläche der Fügeteile aufgerauht ist, tritt infolge der mechanischen Verankerung des Klebstoffs sowie wegen der Vergrößerung der Oberfläche in vielen Fällen eine Erhöhung der Festigkeit ein.

Das Material ist lösungsmittelfrei und hat die angenehme Eigenschaft, während der Vulkanisation nur sehr gering zu schrumpfen. Die Vernetzung erfolgt durch Feuchtigkeitsaufnahme. Dabei wird Essigsäure frei, die leicht an ihrem charakteristischen Geruch zu erkennen ist. Der Vernetzungsvorgang selbst beginnt sofort nach dem Ausdrücken der Paste aus der Tube. Je nach Luftfeuchtigkeit tritt bei einer 4 mm starken Pastenschicht nach 1 bis 4 Tagen eine genügende Durchhärtung ein. Den Härtungsprozeß kann man beschleunigen, wenn neben der Temperatur (bis etwa 50 °C) auch die Luftfeuchtigkeit erhöht wird. Es ist aber durch den beigemischten speziellen Vernetzer eine Aktivierung und damit eine Reaktion auch noch bei etwa —10 °C möglich.

Bei *Cenusil* sind die gleichen Forderungen an die Oberflächenvorbereitung und -behandlung zu stellen wie bei den bisher beschriebenen Produkten.

Für folgenden Einsatz hat sich nach [29] *Cenusil* bisher gut bewährt:

- Einkleben von Glasscheiben,
- Kleben von Profilen und Gegenständen aus Plasten auf Fliesen,
- Reparatur von Gegenständen aus Glas, Keramik, Porzellan oder Steingut,
- Anbringen von Typen-, Nummern- und Namenschildern an Geräten, Maschinen und Fahrzeugen.

Wie bereits angedeutet, läßt sich *Cenusil* auch als Dicht- und Verfugungsmasse anwenden. In der Broschüre „Gießen in der Amateurtechnik", Militärverlag der DDR, Berlin 1976, wird darüber ausführlicher berichtet.
Abschließend ist noch zu bemerken, daß mit *Cenusil* verunreinigte Geräte und Hände vor der Vernetzung des Produkts leicht durch Abreiben mit einem Tuch oder saugfähigem Papier gesäubert werden können. Nach der Vulkanisation läßt sich der Kautschuk leicht mit einer Drahtbürste von jeder Oberfläche entfernen.
Die garantierte Haltbarkeit des Erzeugnisses in verschlossener Tube beträgt 6 Monate. Die 80-g-Tube kostet 4,45 M einschließlich Polyäthylendüse, Anleitung und Faltschachtel.

4.5. Polyvinylacetat

Durch seine gute Haftung gegenüber vielen Werkstoffen ist Polyvinylacetat einer der bekanntesten Klebgrundstoffe geworden. Besonders die niedermolekularen Polyvinylacetate besitzen eine gute Eigenklebrigkeit, so daß man sie in Form von Lösungen und Dispersionen unter den verschiedensten Namen anbietet. Dem Autor sind 51 verschiedene DDR-Produkte bekannt. Nachstehend sind von beiden Gruppen einige Vertreter genannt und beschrieben.

4.5.1. Berliner Holzkaltleim, Brauns PVAc-Leime Type „0", „L" und „S", Dispersionskitt L 58 S bzw. Dispersionsklebstoff L 58 S, Pelasal 136 G

Allen Dispersionsklebstoffen dieser Art ist gemeinsam, daß sie Wasser als Dispersionsmittel haben und eine weiße bis graue Farbe aufweisen. Je nach weiteren Zusätzen, z. B. Füllstoffen, sind sie niedrig- bis hochviskos. Vor Gebrauch sind sie sehr gut umzurühren.
Die nachstehende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die Eigenschaften der erwähnten Klebstoffe [30].

Tabelle 4.5
Unterschiedliche Eigenschaften einiger Polyvinylacetatdispersionsklebstoffe

Klebstoff	Trockenrückstand (%)	Viskosität (cP)	PH-Wert	max. Wz. (min)	min. Pz. (min)
Berliner Holzkaltleim	46–48	450– 650	7	20	30
Brauns PVAc-Leim O	46–50	1600–2200	3	15	30
Brauns PVAc-Leim L	40–43	450– 650	7	15	60
Brauns PVAc-Leim S	41–44	450– 650	7	15	60
Dispersionsklebstoff L 58 S	etwa 75		5	3	Kontaktdruck
Pelasal 136 G	etwa 55	6000–8000	5	5	Kontaktdruck

Wz. = Wartezeit
Pz. = Preßzeit

Polyvinylacetatdispersionen enthalten in geringen Mengen Essigsäure. Bei längerer Lagerung kann sich, besonders durch Wärmeeinfluß, dieser Anteil erhöhen. Bei säureempfindlichen Werkstoffen haben Klebstoffe dieser Art gute Adhäsionsneigung (Holz, Leder, Kunstleder, Textilien, Pappe, Linoleum, Hartfaserplatten und Kork). Die höher viskosen Produkte eignen sich unter anderem auch zum Kleben von Kacheln und Fliesen aus Plasten, Keramik und Glas auf Zement- und Kalkputz, aber auch auf Sandstein oder Holz. Das sehr lösungsmittelempfindliche Schaumpolystyrol und auch andere Schaumstoffe lassen sich sehr gut mit solchen Dispersionen kleben. Wesentlich ist, daß wenigstens ein Fügeteilpartner eine poröse Struktur aufweist.

Die Klebverbindungen sind bedingt wasserfest, aber nicht kochfest. Die meisten PVAc-Leime sind beständig gegen Fäul-

nis und Schimmel. Der getrocknete Klebstoffilm ist bei den füllstofffreien Typen glasklar.
Die meisten wäßrigen Dispersionen sind frostempfindlich und dürfen nicht unter 0 °C gelagert werden.

4.5.2. Reinalit 50

Als Vertreter der lösungsmittelhaltigen, füllstofffreien PVAc-Kleblacke soll hier *Reinalit 50* stehen. Es ist ein transparenter Klebstoff, der zur Verbindung von vielen Thermoplasten wie PVC, Zellulosenitrat, Zelluloseacetat sowie für Gummi, Linoleum und mit Einschränkungen für Glas und Metalle geeignet ist.

Auch bei den Kleblacken bereitet das richtige Abdunsten der (oder des) Lösungsmittel(s) oft Schwierigkeiten. Deswegen sollte auch hier wenigstens ein Fügeteilpartner porös sein. Ist das nicht der Fall, dann können die oder das Lösungsmittel nur zur Seite der Klebstoffschicht diffundieren, was gerade beim PVAc viel Zeit erfordert; denn dieses Material hält Lösungsmittel sehr fest. Da aber die Eigenschaften der Klebstoffschicht und hier insbesondere die Kohäsion, die chemische Beständigkeit gegenüber Wasser und anderen Agenzien sowie die Wärmebeständigkeit erheblich davon abhängig sind, muß man eine ausreichende offene Wartezeit, eine geringe Auftragsdicke auf beide Fügeteile und eine warme Umgebung gewährleisten.

4.5.3. Mökoflex L 2837 und L 2838

Beide Klebstoffe sind hellgraue, zähplastische Massen, die anorganische Füllstoffe enthalten. Laut Merkblatt des Herstellers, des VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens", Werk Schuhchemie Mölkau, wird speziell *Mökoflex L 2837* für folgende Aufgaben eingesetzt:

— Kleben von Isolierstoff-Abstandsschellen für die Verlegung

von elektrischen Leitungen wie Steigleitungen, Schaltern und Dosen auf Ziegelstein, Putz, Beton, Metall und Holz.
- Kleben von Fliesen und Kacheln aus Plasten, Glas oder Keramik auf Beton, Putz oder Ölfarbe.
- Befestigen von Typen- und Bezeichnungsschildern auf Maschinen, Geräten und Anlagen.
- Kleben von Filzstreifen in Tür- und Fensterrahmen.

Der Unterschied zwischen beiden Typen besteht in ihrem Füllstoffgehalt, der bei *Mökoflex L 2837* etwa 44% und bei *L 2838* 60% beträgt.
Neben diesen speziellen Bemerkungen gelten die gleichen Hinweise wie bei *Reinalit 50.*

4.6. Polyvinylchlorid

Eigentlich ist die Bezeichnung für den Klebgrundstoff nicht ganz richtig. Da PVC in den meisten Lösungsmitteln nur schlecht löslich ist, setzt man dafür das nachchlorierte PVC ein, das durch seinen hohen Chlorgehalt ein besseres Lösungsverhalten zeigt. Im allgemeinen enthalten die sogenannten PC-Klebstoffe 10 bis 20% Feststoff.
Auch hier gibt es eine große Zahl verschiedener Klebstoffe, von denen folgende genannt seien: *PC 15, PCD 13, PCM 10, PCM 13, PCM 15* und *PCA 20.* Besonders empfehlenswert ist hierbei die Gruppe der PCM-Klebstoffe, die als Lösungsmittel Methylenchlorid enthalten, das der Gefährdungsgruppe III, wenig oder nicht gesundheitsschädigend, angehört und wegen seiner Nichtbrennbarkeit keiner Gefahrenklasse zugeordnet ist.
Die Klebstoffe sind alle mehr oder weniger transparent. Die erforderliche Zeit bis zur Verfestigung ist neben den äußeren Bedingungen abhängig vom Klebstoff, von der Größe der Klebfläche und der Art der Fügeteile. Sie beträgt im allgemeinen 6 bis 24 Stunden.
PC-Klebstoffe setzt man zur Verbindung von Hart- und Weich-PVC mit Metallen, Holz, Pappe, Beton, Textilien, Duroplasten, Leder und mit sich selbst ein.

Zur Verbesserung der Festigkeit sollen bei hohen Ansprüchen beide Fügeteile zweimal bei einer mindestens 45minütigen Pause eingestrichen werden. Nach dem zweiten Einstrich ist nochmals etwa 5 Minuten zu warten, bis das Fügen der Teile erfolgen kann. Diese Zeitangaben gelten nicht für *PCA 20*, das als Schnellklebstoff Aceton enthält und schneller als die übrigen Lösungsmittel abdunstet. Eine Aufrauhung der zu klebenden Flächen hat sich bei diesen Klebstoffen als sehr vorteilhaft erwiesen.

Der verfestigte Klebstoff ist stabil gegen aliphatische Kohlenwasserstoffe wie Benzin und Paraffin, gegen verdünnte Alkalien und die meisten Säuren. Er wird von chlorierten und aromatischen Kohlenwasserstoffen sowie Estern und Ketonen angegriffen.

4.7. Cellulosenitrat

Kleblacke auf der Basis von Cellulosenitrat gehören zu den „Allesklebstoffen". Diese Bezeichnung ist für keinen Klebstoff gerechtfertigt. Im Einzelhandel befindliche Produkte sind z. B. *Kittifix* und *Mökol* (VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens", Betrieb Mölkau) sowie *Duosan-Rapid* (VEB Filmfabrik Wolfen) und *Emofix* (VEB Asol-Chemie). Da reines Cellulosenitrat relativ spröde ist, hat man z. B. im *Kittifix* und im *Emofix* Kunstharze und Weichmacher bzw. andere Polymere zugesetzt, da flexibilisierte Klebstoffe für weiche Fügeteile eine bessere Eignung als spröde haben.

Cellulosenitrat hat einen polaren Charakter und ist mit vielen Werkstoffen verträglich. Es eignet sich zur Verbindung von Celluloid, Pappe, Papier, Leder, Piacryl und Holz. Es ist bedingt zum Kleben von keramischen Werkstoffen und Gummi geeignet. Für Glas, Metalle und die meisten Plastwerkstoffe verwendet man besser die speziell dafür geeigneteren Klebstoffe. Cellulosenitratklebstoffe haben im allgemeinen nur einen Feststoffgehalt von 10 bis 30%. Es ist deshalb zweck-

mäßig, zunächst beide Fügeteilflächen mit dem Klebstoff einzustreichen. Etwa 5 Minuten antrocknen lassen, danach noch ein zweites Mal auf einer der beiden Klebflächen einstreichen und erst dann die Teile zusammenfügen. Je nach Werkstoffpaarung sind für eine ausreichende Verfestigung 8 bis 12 Stunden erforderlich. Klebstoffreste können mit Aceton, Äthylacetat oder Methylenchlorid entfernt werden.

Klebstoffe auf der Basis von Cellulosenitrat sind besonders feuergefährlich (Hinweise in Abschnitt 9 beachten!).

4.8. Klebstoffe auf der Basis von Kautschuken

Die Kautschukklebstoffe gehören zu der umfangreichsten Klebstoffgruppe, die uns angeboten wird. Aus dem Gewirr von Namen, Buchstaben und Ziffern findet man sich nur äußerst schwer zurecht, wenn keine geeignete Übersicht zur Verfügung steht. Grundsätzlich gibt es bei diesen Klebstoffen folgende Typen:

Klebdispersionen: Chemilat D-Typen
Klebkitte: Chemiplast K-Typen
Kleblacke: Chemisol L-Typen
Kittmassen: Chemiplast M-Typen

Im folgenden sollen uns nur die Chemisol L-Typen interessieren, da ihnen von allen vier Sorten die größte Bedeutung zukommt. Bekanntester Hersteller aller vier Typen ist der VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens“.

4.8.1. Chemisol L 1100 bis L 1199

Hierbei handelt es sich um Kleblacke auf der Basis von Naturkautschuk, die sich in der Art des Lösungsmittels, dem Lösungsmittelgehalt, der Viskosität, der offenen Wartezeit und der Verfestigungszeit sowie der zur Verfestigung erforderlichen Temperatur unterscheiden.

Die Sorte L 1100 ist von niederer bis mittlerer Viskosität, hat

eine offene Wartezeit, abhängig vom Werkstoff und der Klebfläche von 0 bis 10 Minuten. Als Preßdruck genügt ein Kontaktdruck. Ein zweimaliges Einstreichen der Fügeteile mit Klebstoff erhöht die spätere Festigkeit der Klebverbindung. Man kann bei vielen Kautschukklebstoffen, so auch beim *Chemisol L 1100*, eine Trockenklebung durchführen. Dazu werden beide Fügeteiloberflächen mit Klebstoff eingestrichen. Nach 30 bis 60 Minuten ist der Klebstoffilm oberflächlich getrocknet, und man fügt die Teile durch kurzes, kräftiges Andrücken zusammen. Man kann mit dem Fügen der Teile bis zu 24 Stunden nach Klebstoffauftrag warten, muß aber dann dafür sorgen, daß weder Staub noch Feuchtigkeit auf den Klebstoff kommen.

Klebstoffe auf Naturkautschukbasis haften auf fast allen Werkstoffen. Sie werden besonders zum Kleben von Schaumstoffen, Leder, Gummi, Textilien, Pappe, Filz und anderem verwendet.

4.8.2. Chemisol L 1300 bis L 1399

Diese Typen bauen sich auf gelöste Butadien-Styrol-Mischpolymerisate auf. Im Prinzip gelten auch hier die unter Punkt 4.8.1. gemachten Aussagen, nur daß neben den dort genannten Werkstoffen auch noch viele Plastwerkstoffe, z. B. PVC, aber auch Metalle, Holz oder keramisches Material geklebt werden können.

Die offene Wartezeit beträgt je nach Umgebungstemperatur 30 bis 120 Minuten.

4.8.3. Chemisol L 1400 bis L 1499

Diese Kleblacke werden auf der Grundlage von Butadien-Acrylnitril-Mischpolymerisaten hergestellt, denen bestimmte Harze und andere niedrig kondensierte Phenolharze zugesetzt worden sind.

Das Beispiel des *Chemisol L 1403*, des bekanntesten Vertreters dieser Gruppe, zeigt die typische Anwendung. Folgende Werkstoffe können geklebt werden: alle Gummiarten außer Silikongummi, Kunstleder, fast alle Arten Folien wie PVC-weich, Cellophan, Filz, Textilien, Holz, Pappe, Polystyrol, Polyamid, Glakresit und Metalle.

Die offene Wartezeit beträgt etwa 10 bis 30 Minuten, der erforderliche Preßdruck 2 bis 4 kp/cm^2 und die Preßzeit 15 Sekunden.

4.8.4. Chemisol L 1500 bis L 1599 und Chemikal-Klebstoff

Ähnlich wie bei den anderen bereits beschriebenen Chemisol-Typen handelt es sich hierbei auch um Kleblacke. Sie werden auf der Grundlage von Synthesekautschuk auf Polychloropren-Basis hergestellt, denen Harze wie Phenol-, Melamin-, Kolophonium- oder Anilin-Formaldehyd-Harze und Stabilisatoren zugesetzt worden sind. Durch diese Harze wird das kohäsive und adhäsive Verhalten stark beeinflußt. Polychloroprenklebstoffe zeigen auf Grund ihrer starken Kristallisationsneigung höhere Festigkeiten und Temperaturbeständigkeiten als andere Kautschukklebstoffe. Die Klebstellen sind bis etwa +50 °C belastbar und widerstehen den meisten witterungsbedingten Einflüssen.

Die offene Wartezeit beträgt 2 bis 15 Minuten, der Preßdruck etwa 2 bis 5 kp/cm^2 und die Preßzeit etwa 10 Sekunden. Bei der Verarbeitung sollte eine minimale Temperatur von +18 °C herrschen. Die Klebfestigkeit nimmt innerhalb der ersten 48 Stunden erheblich zu.

Wegen ihrer guten Eigenschaften werden Polychloropren-Kautschuk-Klebstoffe in fast allen Industriezweigen eingesetzt. Sie dienen unter anderem im Elektrogeräte- und Kühlschrankbau zum Befestigen von Dichtungen, aber auch im Waggon- und Schiffbau, in der Schuh- und Möbelindustrie.

Folgende Werkstoffe lassen sich kleben: Hart- und Weich-PVC, Schaumgummi und andere Schaumstoffe, Gummi, Pi-

acryl, Polystyrol, Polyamid, Polyester- und Epoxidharze, Polyurethane, Phenolharze wie Sprelacart, aber auch Metalle, speziell eloxiertes Aluminium-Blech, sowie Gewebe, Pappe, Holz und vieles andere. Als Kontaktklebstoff sind sie fast universell einsetzbar.

4.9. Polystyrol-Klebstoffe

Einer der verbreitetsten Plastwerkstoffe in der Elektrotechnik ist Polystyrol in all seinen Formen. Zum Kleben von Polystyrolartikeln sollten keine Lösungsmittel, sondern Lösungen des Polymeren verwendet werden, da mit Kleblacken verbundene Teile geringe Spannungen aufweisen. Solche Klebstoffe sind z. B. *Plastifix* und *Epasin 572*.

Sowohl *Plastifix* als auch *Epasin 572* haben eine offene Wartezeit von etwa 2 Minuten. Beide zu klebenden Flächen werden mit dem Klebstoff eingestrichen und nach dem Abdunsten eines Teils des Lösungsmittels unter Kontaktdruck verbunden. Es empfiehlt sich eine Fixierung der Fügeteile bis zur ausreichenden Verfestigung des Klebstoffs, was ungefähr 5 bis 12 Stunden dauert. Danach kann auch durch leichte Erwärmung der Fügeteile auf etwa 50 °C eine schnellere Abdunstung des Lösungsmittels erreicht werden.

Zur Vermeidung von Blasen in der Klebfuge sollte man aber nicht gleich nach dem Fügen erwärmen.

4.10. Sulfitablauge, Bärenkleber

Dieser bei der Papier- bzw. Zelluloseherstellung anfallende Rohstoff kann auch als Klebstoff eingesetzt werden. Vom Klebstoffkombinat Pirna wird z. B. der sogenannte Bärenkleber „Blausiegel“ hergestellt, der zum Kleben von Holz, Leder, Filz, Pappe sehr gut geeignet ist. Dieser Leim ist einfach in der Handhabung und für viele Aufgaben in der Modell- und Amateurtechnik ausreichend. Klebstoffe dieser Art sind mit Wasser verdünnbar und physiologisch einwandfrei.

4.11 Sonstige Klebstoffe

Neben den bisher beschriebenen Produkten gibt es eine Vielzahl von Erzeugnissen unterschiedlicher Rohstoffgrundlage, die in diesem kurzen Abriß leider keine Berücksichtigung finden konnten.

Vom Fachhandel wird auch der Klebstoff *Epasol-Kontakt* angeboten.

Er ist auf eine Entwicklungsarbeit im damaligen Institut für Kunststoffe der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin zurückzuführen und wird vom VEB Asol-Chemie produziert. Er eignet sich speziell zum Kleben von Folien aller Art sowie Geweben. Die dabei erreichbaren Schälfestigkeiten von 200 bis 600 p/cm je nach Folienart reichen für die meisten Anwendungsfälle aus. Das Kleben von Schaumstoffen ist möglich; jedoch ist dafür die Viskosität und Anfangsfestigkeit sehr niedrig.

5. Klebstoffe nach Maß

Das Produktionsprogramm an Klebstoffen hat in der DDR einen erheblichen Umfang. Da aber auch die Anwendungsfälle äußerst vielfältig sind, kann es erforderlich sein, einen Klebstoff in seinen Eigenschaften gezielt zu beeinflussen. Dabei muß man zwischen den Eigenschaften des Klebstoffs und denen des verfestigten oder gehärteten Klebstoffilms unterscheiden.

5.1. Verdünnungsmittel

Die einfachste Art, die Viskosität herabzusetzen, ist, geeignete Verdünnungsmittel zuzusetzen. Bei den reaktionsfähigen Harzen wie den Epoxid-, Polyester-, Acrylatharzen sowie dem Silikonkautschuk ist das nur mit erheblichen Einschränkungen möglich, weil durch den Einschluß des Lösungsmittels die Eigenschaften des Klebfilms zum Teil sehr stark verschlechtert werden. Bei den Epoxid- und Polyesterharzen sollte sich der Anwender um spezielle Produkte bemühen, die seinen Forderungen genügen. Auch bei dem zur Zeit angebotenen Silikonkautschuk ist ein Eingriff in das vorgegebene System nicht sinnvoll. Bei dem angebotenen Acrylat-Harz *Kalloplast R* kann man die Viskosität durch Überdosierung der flüssigen Komponente herabsetzen. Dabei muß allerdings eine Verlängerung der Gebrauchsdauer hingenommen werden. Für die genannten Stoffe gibt es also kein universell einsetzbares Verdünnungsmittel!

Weniger schwierig ist die Verdünnung der Kleblacke und Leime, die nur das richtige Lösungsmittel erforderlich machen. In der nachstehenden Übersicht sind geeignete Lösungsmittel für solche Klebstoffe genannt, die gleichzeitig auch zur Reinigung verwendeter Geräte benutzt werden können.

Tabelle 5.1
Lösungs- und Reinigungsmittel für Klebstoffe

Kleb-grundstoff	Klebstoff	Geeignetes Lösungsmittel
Polyvinyl-acetat	Berliner Holzkaltleim	Wasser
	Brauns PVAc-Leim	Wasser
	Pelasal 136 G	Wasser
	Dispersionsklebstoff L 58 S	Wasser
	Reinalit 50	Aceton
	Asolofix	Äthylacetat
Polyvinyl-chlorid	PCM 10	Methylenchlorid
	PCM 13	Methylenchlorid
	PCM 15	Methylenchlorid
	PCA 20	Aceton
	PCD 13	Dichloräthan
	PC 15	Dichloräthan, Aceton
Cellulose-nitrat	Kittifix	Aceton
	Mökol	Aceton
	Duosan	Aceton, Äthylacetat
	Emofix	Äthylacetat
Kautschuk	Chemisol L 1100	1 MT Aceton + 1 MT Benzin
	Chemisol L 1300	Trichloräthylen, Methylenchlorid
	Chemisol L 1403	Äthylacetat
	Chemikal-Klebstoff	Äthylacetat
	Chemisol L 1503	Äthylacetat
Polystyrol	Epasin 572	Äthylacetat, Aceton
	Plastikfix	Äthylacetat, Aceton
Sulfit-ablauge	Bärenkleber „Blausiegel“	Wasser
	Epasol-Kontakt	Äthylacetat, Butylacetat

5.2. Füllstoffe

Neben der Verdünnung von Klebstoffen kann der Zusatz von Füllstoffen erforderlich sein. Je nach chemischer Zusammensetzung und Morphologie können Füllstoffe die Eigenschaften eines Klebstoffs erheblich beeinflussen.
Bei den Kleblacken ist der Zusatz von Füllstoffen nicht so gebräuchlich wie bei Epoxid- und Polyesterharzen, da sie zum Teil vom Hersteller bereits so angereichert sind.
Allen Füllstoffen gemeinsam ist eine unterschiedliche Erhöhung der Viskosität. Starke Viskositätserhöhungen bewirken Talkum, Kaolin, Asbestmehl, Titandioxid und alle mikronisierten Füllstoffe mit großer spezifischer Oberfläche. Quarzsand, Metallpulver und Schwerspat wirken dagegen erst bei größeren prozentualen Zusätzen viskositätserhöhend. Eine Sonderstellung nehmen die thixotropierenden Füllstoffe ein. Unter Thixotropie versteht man eine Grenzflächenerscheinung des Systems „Fest-Flüssig", wobei dieses System sich bei mechanischer Erschütterung, z. B. durch Schütteln, Rühren, verflüssigt und sich in der Ruhe nach kurzer Zeit wieder verfestigt. Die Ursache dafür liegt in der Bildung von netzartigen losen Verbindungen der einzelnen Füllstoffteilchen, die leicht aufgehoben und wieder neu gebildet werden können. Zur Gruppe dieser Füllstoffe gehören unter anderem die hochdispersen Kieselsäuren, z. B. *Füllstoff K 60* oder *Aerosil*, die in Zusätzen von 2 bis 8% wirken.
Neben der Viskositätserhöhung können Füllstoffe die mechanischen Eigenschaften, die Wärme- und die elektrische Leitfähigkeit, die Wärmebeständigkeit und das Feuchtigkeitsverhalten sowie die chemische Beständigkeit und die Dichte beeinflussen. Weiterhin kann ein Zusatz bestimmter Füllstoffe, z. B. Talkum, eine adhäsionsverbessernde Wirkung hervorrufen.
Füllstoffe sind grundsätzlich nur in gut getrocknetem, klumpenfreiem Zustand Klebstoffen beizumischen. Dabei ist auf eine gründliche Mischung zu achten, um eine möglichst weitgehende Benetzung der Oberfläche zu erreichen, was sich auch auf die spätere Klebfestigkeit auswirkt.

Tabelle 5.2
Einfluß von Füllstoffen auf das Harz und auf die Klebverbindung

	Viskositätserhöhend	Thixotropie	Sedimentation	Zugscherfestigkeit	Schälfestigkeit	Wärmebeständigkeit
1 Aluminiumoxid	○	○	+	+		+
2 Aluminiumpulver	○	○	+	+	+	
3 Asbestmehl	+		+	+		+
4 Blanc-fixe	+					
5 Eisenpulver	○	○	+		+	
6 Füllstoff K 60	+	+	—			
7 Kaolin	+	+		+		
8 Kreide	+			○	○	
9 Magnesiumoxid	+					
10 Pudergraphit	+			+	+	+
11 Quarzmehl, amorph	○	○	+			
12 Schiefermehl	+	○	+			
13 Schwerspat	○	○	+	○		
14 Talkum	+	+	—	+		
15 Titandioxid	+					
16 Zement	+					+

\+ = Starker Einfluß
○ = ohne große Wirkung
— = gegenteiliger Einfluß

Einen Klebstoff mit guten Festigkeitseigenschaften und ausreichender Thixotropie könnte man z. B. so herstellen:

60 MT Epilox EGK 19
35 MT Talkum
5 MT Füllstoff K 60
6,6 MT Härter oder

60 MT Polyester G
20 MT Kaolin
4 MT Füllstoff K 60
20 MT Talkum

1 MT Katalysator und
1 MT Beschleuniger

Klebstoffe mit guter Wärmeleitfähigkeit erhält man durch einen Zusatz von etwa 40 MT Aluminiumpulver zum Harz, also:

50 MT Epilox EGK 19	30 MT Epilox EGK 19
40 MT Aluminiumpulver	60 MT Aluminiumpulver
10 MT Pudergraphit	10 MT Pudergraphit
5,5 MT Härter 3 oder	3,3 MT Härter
als Spachtelmasse	

Schwieriger ist die Herstellung eines relativ wärmebeständigen kalthärtenden Klebstoffs. Folgende Möglichkeiten bieten sich unter anderem an:

60 MT Epilox EG 34	30 MT Epilos EG 34
40 MT Graphit	70 MT Aluminiumoxid
7,2 MT Härter oder	3,6 MT Härter 3

Zeckmäßiger ist hier der Einsatz des heißhärtenden Harzes *Epilox EK 10*, das wesentlich höheren Anforderungen genügt. Ausführlicher wird zu den Füllstoffen in der Broschüre über Gießharze (electronica Band 146) eingegangen.

5.3. Farbstoffe

Der Einsatz von Verdünnungsmitteln als auch von Füllstoffen hat hauptsächlich technologisch begründete Ursachen. Der Verwendung von Farbstoffen liegen meist dekorative Motivationen zugrunde. Leider ist es nicht möglich, alle Farbstoffe in Klebstoffen einzusetzen, da sie entweder mit den Klebstoffbestandteilen nicht verträglich sind, sich nicht mischen lassen oder die Eigenschaften des gehärteten bzw. verfestigten Klebstoffs zu negativ beeinflussen. Fast universell sind die Farbpasten der Farbenfabrik Nerchau einsetzbar. Im allgemeinen genügt ein Zusatz von 2 bis 5%, um einen ausreichenden Effekt zu erzielen. Folgende Farben werden angeboten:

Tabelle 5.3
Sortiment Nerchauer Polyestereinfärbepasten

Lfd. Nr.	Farbname
NP-Farbpaste 02	Gelb
NP-Farbpaste 04	Rot
NP-Farbpaste 06	Blau
NP-Farbpaste 08	Grün
NP-Farbpaste 15	Weiß
NP-Farbpaste 25	Gelb
NP-Farbpaste 28	Gelb, rötlich
NP-Farbpaste 29	Ocker
NP-Farbpaste 35	Orange
NP-Farbpaste 45	Rot
NP-Farbpaste 49	Rotbraun
NP-Farbpaste 57	Dunkelbraun
NP-Farbpaste 62	Hellblau
NP-Farbpaste 65	Blau
NP-Farbpaste 68	Dunkelbau
NP-Farbpaste 71	Graugrün
NP-Farbpaste 73	Türkisgrün
NP-Farbpaste 75	Grün
NP-Farbpaste 77	Olivgrün
NP-Farbpaste 78	Dunkelgrün
NP-Farbpaste 85	Grau
NP-Farbpaste 95	Schwarz

Die erforderliche Menge zur Anfärbung ist sehr unterschiedlich und liegt in der Regel zwischen 0,2 und 6 %, meist aber bei 2 %. Es ist empfehlenswert, vor der endgültigen Durchführung einen Vorversuch zu machen, um auch den Farbeffekt nach dem Verfestigen bzw. Härten zu sehen, der unter Umständen anders als beim Einrühren sein kann.

Neben den genannten Farbpasten können auch folgende Farbstoffe bzw. Farbpigmente zum Einsatz gelangen:

Tabelle 5.4
Eine Auswahl von Farbstoffen bzw. Farbpigmenten

Farbstoff/Pigment	Farbname
Titandioxid	Weiß
Zinkoxid	Weiß
Zinkgelb, hell	Hellgelb
Sudangelb	Dunkelgelb
Chromgelb	Gelb
Hansagelb	Gelb
Chromorange	Orangerot
Gummirot	Rot
Karminrot	Rot
Umbra-rötlich	Rotbraun
Eisenoxidrot	Rotbraun
Sudanbraun	Dunkelbraun
Diamantgrün	Grün
Zinkgrün hell und dunkel	Hell- bzw. Dunkelgrün
Sudanblau	Blau
Ultramarinblau	Blau
Ruß	Schwarz
Graphit	Schwarz

5.4. Elastifizierungsmittel

In den letzten Jahren sind die Klebstoffhersteller dazu übergegangen, Klebstoffe mit Elastifizierungsmitteln zu versehen, um die Gebrauchseigenschaften insbesondere zur Verbindung von Plastwerkstoffen zu verbessern.

Durch den Zusatz sogenannter äußerer Weichmacher wird die Adhäsion verbessert, die Benetzungsfähigkeit erhöht, die Viskosität in vielen Fällen herabgesetzt, so daß ein besseres Eindringen in vorhandene Poren möglich ist und zusätzlich polare Gruppen in ein Klebstoffsystem gelangen. Unangenehm ist, daß die Wärmebeständigkeit mit steigendem Weichmachergehalt abnimmt, da die zwischenmolekularen Kräfte herabgesetzt werden und die Weichmacher durch ihre Nebenvalenz-

bindungen zum „Auswandern" neigen. Die dielektrischen Verluste steigen stark an. Verbindungen dieser Art sind Dibutylphthalat, Dioktylphthalat, Glyzerin und Hexantriol. Weichmacher setzt man den Klebgrundstoffen meist 10 bis 25%ig zu.

Neben den vorher beschriebenen äußeren Weichmachern gibt es auch die sogenannten inneren Weichmacher, die mit dem Polymeren reagieren können und so durch Hauptvalenzbindung fest im Klebstoff eingebaut sind. Die Handhabung solcher Produkte ist aber wesentlich komplizierter und kaum für die Amateurtechnik geeignet. Wer trotzdem weitere Informationen darüber erhalten will, sollte in der einschlägigen Literatur nachlesen [2, 9, 22], obwohl es gerade hier zur Zeit noch an einer geeigneten Gesamtübersicht für die Betriebspraxis fehlt.

6. Kriterien zur Klebstoffauswahl

Häufig wird die Meinung vertreten, daß es zwar einige Klebstoffe gibt, die man auch einmal ausprobieren sollte, die aber im Ergebnis doch recht unbefriedigend sind. Dabei ist es mit dem Kleben ähnlich wie bei anderen Fügeverfahren: Macht man an irgendeiner Stelle Fehler, stellt sich der erhoffte Erfolg nicht ein.

Mit der Klebstoffauswahl wird praktisch die Grundlage für das spätere Ergebnis gelegt. Folgende Kriterien und Einflüsse sollten Berücksichtigung finden:

- Einflüsse vom Fügeteil
  Molekularer Aufbau, Benetzbarkeit, Löslichkeit, Eigenspannungen, Beschaffenheit der Oberfläche, sonstige mechanische, thermische und chemische Einflüsse sowie die Alterungsbeständigkeit
- Kriterien des Klebstoffs
  Molekularer Aufbau, Benetzungsfähigkeit, Klebstoffbestandteile, rheologisches Verhalten, Schrumpfung, Schichtdicke, Transparenz, Haftfähigkeit
- Betriebs- und Umwelteinwirkungen
  Art und Größe der Beanspruchung in mechanischer, chemischer, biologischer, thermischer oder klimatischer Art, konstruktiver Gestaltung

6.1. Auswahl nach der Anwendungsform

Wie bereits in Abschnitt 2 beschrieben, können Klebstoffe nach ihrer Anwendungsform eingeteilt werden. Danach ergibt sich folgendes Bild:

Kontaktklebstoffe sind alle beschriebenen *Chemisol*-L-Typen. Eine Ausnahme bildet *Epasol-Kontakt,* da man diesen Klebstoff auch in die Gruppe der Kleblacke einordnen kann. Durch

ihre Haftfreudigkeit und für viele Zwecke ausreichende Festigkeit haben sie eine vielseitige Anwendung gefunden.
Als Klebdispersionen wurden *Berliner Holzkaltleim*, *Brauns PVAc-Leim*, *Dispersionskitt L 58 S* und *Pelasal 136 G* beschrieben. Durch das Dispersionsmittel und eventuell die damit verbundenen Nachteile wie „Feuchtigkeitseinwanderung" in empfindliche Bauelemente wird nur eine beschränkte Anwendung erfolgen.
Für die Sulfidablauge als Vertreter der Leime gilt ähnliches wie für die Klebdispersionen.
Klebkitte sind *Mökoflex L 2837* und *L 2838*. Sie unterscheiden sich von den Kleblacken durch ihren Füllstoffgehalt. Die erreichbare Festigkeit ist gut.
Kleblacke bilden die größte Klebstoffgruppe der hier beschriebenen Produkte. Zu dieser Gruppe gehören *Piaflex LT 30*, *Epasin H 1243* und *H 1207*, *Reinalit 50*, *PCM 10* und die anderen PC-Klebstoffe, *Kittifix*, *Mökol*, *Duosan-Rapid*, *Emofix*, *Plastikfix* und *Epasin 572*. Die Zahl ist so groß, weil jeder Klebstoff nur für wenige Werkstoffe geeignet ist. Die Klebeigenschaften sind gut, ebenso die Festigkeit der Klebverbindung.
Reaktionsklebstoffe wie *Epilox EGK 19*, *EG 34*, *EK 10*, *Epasol EP 2*, *11* und *30*, *Polyester G*, *Mökodur L 5001*, *Hobbyplast*, *Kalloplast R* und *Cenusil* haben den Nachteil, daß sie technologisch schwerer zu handhaben sind. Ihr Vorteil liegt in der teilweise höheren mechanischen Festigkeit, größeren thermischen und chemischen Beständigkeit.

6.2. Vor- und Nachteile des Klebens

Gegenüber dem Schweißen, Schrauben und Nageln weist das Kleben eine Reihe von Vor- und Nachteilen auf, die hier kurz angedeutet werden sollen.

Nachteile:
— die Wärme- und teilweise Witterungsempfindlichkeit;
— unter Umständen hoher Aufwand bei der Oberflächenvorbereitung und -behandlung;

— relativ lange Verfestigungs- bzw. Härtungszeiten;
— Arbeit erfordert je nach Kompliziertheit Qualifikation;
— Schälkräfte sind durch konstruktive Maßnahmen zu vermeiden;
— teilweise ist ein gut be- und entlüfteter Raum notwendig.

Vorteile:
— Es sind in jedem Fall unterschiedliche Stoffe verbindbar.
— Die Spannungsverteilung in Klebflächen ist gleichmäßig.
— Der Verbund ist dicht und kann leicht elektrisch isolierend ausgeführt werden.
— Der Aufwand ist relativ gering.

Diese Gegenüberstellung weist noch einmal darauf hin, daß man kritisch überprüfen sollte, ob eine Klebung sinnvoll ist.

7. Hinweise für klebgerechte Konstruktionen

Ähnlich wie das Schweißen, Nieten, Löten, Schrauben usw. bedarf auch die Klebtechnik besonderer konstruktiver Gesichtspunkte, die sich von anderen Verbindungsverfahren erheblich unterscheiden. Die verschiedenen Arten der einwirkenden Kräfte sind in Bild 7.1, a bis f, dargestellt.

Grundsätzlich kann gesagt werden, daß alle Klebstoffe gegenüber Schälkräften mehr oder weniger empfindlich sind. Handelt es sich um steife, sehr kompakte Werkstücke, wie in Bild 7.1a dargestellt, dann werden solche Schälkräfte kaum

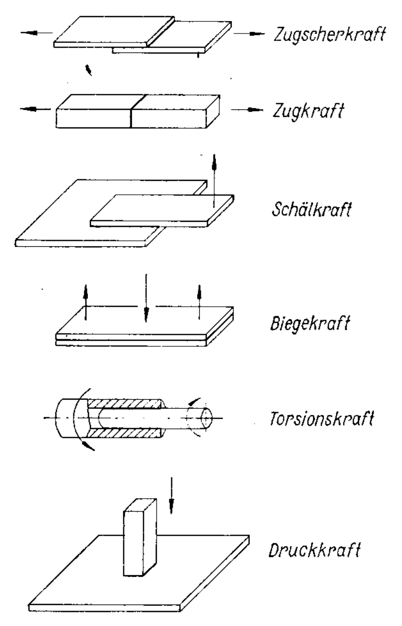


Bild 7.1 Die verschiedenen Krafteinwirkungen auf eine Klebverbindung

auftreten. Beim Einsatz von Blech oder flexiblen Werkstoffen sind entsprechende Ausbildungen und Gestaltungen erforderlich. Einige Anregungen dazu sollen Bild 7.2. bis Bild 7.7, Bild 7.11 und Bild 7.12 geben.

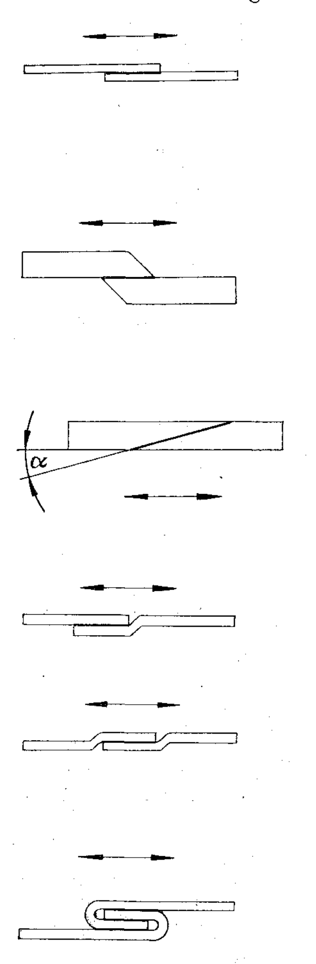


Bild 7.2
Einschnittig überlappte Verbindung; Verbindung sehr einfach, für Plast- und Blechkonstruktionen geeignet, durch exzentrische Belastungen können Biegemomente bei dünnen Teilen auftreten

Bild 7.3
Einschnittig überlappte abgeschrägte Verbindung; günstigere Kraftübertragung als in Bild 7.2 dargestellte Verbindung, aber aufwendiger in der Ausführung, mehr für Plast- und Metallkonstruktionen geeignet

Bild 7.4
Geschäftete Flachverbindung; sehr aufwendige Vorbereitung, stärkere Blech- oder Plastteile Voraussetzung, sehr gute Kraftübertragung mit kleiner werdendem Winkel

Bild 7.5
Überlappung mit einfacher Sicke; für Blech-Blech-Kombinationen gute Verbindung

Bild 7.6
Überlappung mit doppelter Sicke; ebenfalls für Blech-Blech-Kombinationen bevorzugt geeignet, noch bessere Spannungsverteilung als bei Bild 7.5

Bild 7.7
Doppelt gefalzte Überlappung; Blech-Blech-Verbindung, besonders für dynamische Beanspruchung zu empfehlen

Stärkere bzw. kompaktere Werkstücke können entsprechend Bild 7.8 bis Bild 7.16 verbunden werden.

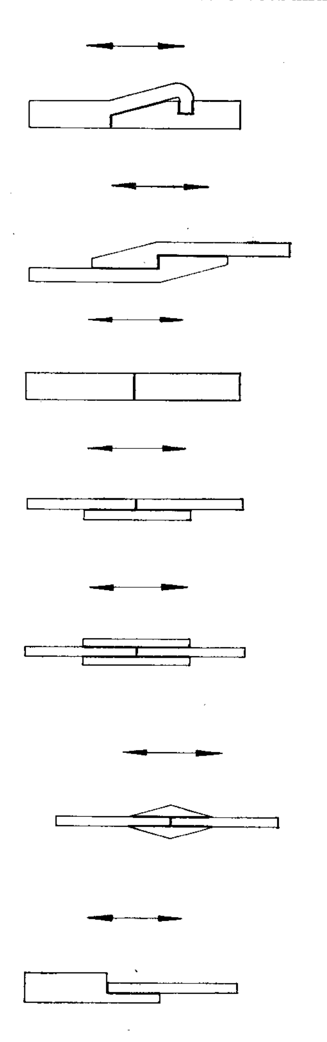


Bild 7.8
Verhakte Verbindung; besonders für Spritz- oder Preßteile aus Plasten geeignete Verbindung, auch dynamisch belastbar

Bild 7.9
Abgestufte Überlappung; ebenfalls bevorzugt für Spritz- und Preßteile aus Plasten

Bild 7.10
Stumpfstoß-Verbindung; selten angewandt, nicht zur Übertragung von Kräften geeignet, zu kleine Klebfläche

Bild 7.11
Einschnittig gelaschte Verbindung; weniger für größere Kraftübertragungen durch exzentrische Belastung geeignet

Bild 7.12
Zweischnittig gelaschte Verbindung; sehr gute Kraftübertragung, durch symmetrischen Kraftverlauf, auch für dynamische Beanspruchungen geeignet

Bild 7.13
Zweischnittig gelaschte Verbindung mit abgeschrägten Laschen; beste Spannungsverteilung, aber sehr hoher Aufwand, wenn keine fertigen Profile zur Verfügung stehen

Bild 7.14
Abgesetzte einschnittig überlappte Verbindung; für größere Kraftübertragungen ungeeignet, sonst häufig angewandt

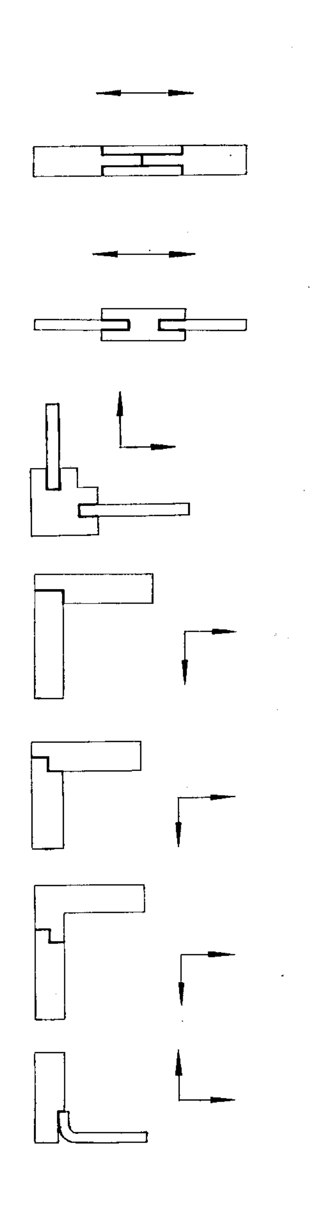


Bild 7.15
Abgesetzte zweischnittig überlappte Verbindung; sehr gute Spannungsverteilung, hoher Aufwand, wenig angewandt, Voraussetzung sehr massive Teile

Bild 7.16
Nutverbindung, gerade; für Plast-Metall-Kombinationen besonders geeignet, weniger für große Kraftübertragungen

Bild 7.17
Nutverbindung, winklig; ebenfalls für Plast-Metall-Kombinationen bevorzugt geeignet, ohne Profilleiste hoher Aufwand

Bild 7.18
Abgesetzte Winkelverbindungen; beide Varianten für massive Teile speziell aus Plasten

Bild 7.19 Abgesetzte Winkelverbindung; für massive Teile zur Bildung von Ecken

Bild 7.20
Abgesetzte Winkelverbindungen; beide Varianten speziell für Spritz-, Gieß- und Preßteile untereinander und mit Blech

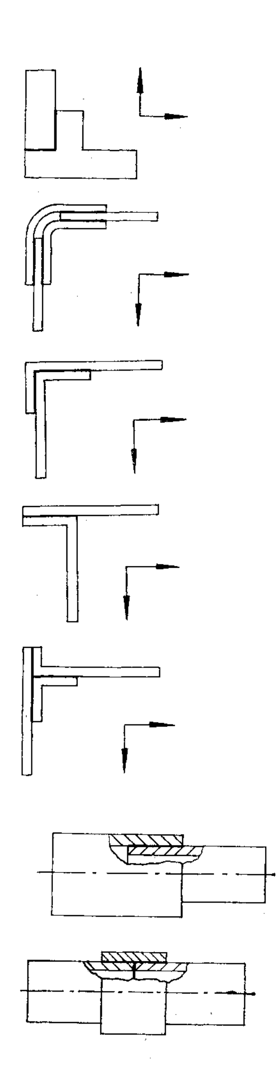


Bild 7.21
Doppelt versteifte Winkelverbindung; für Blechkonstruktionen, gute Stabilität

Bild 7.22
Überlappte Winkelverbindung; bevorzugt für Blechkonstruktionen geeignet, gute Stabilität

Bild 7.23
Einfache Winkelverbindung; für Blechkonstruktionen, wenig stabile Ausführung

Bild 7.24
Verstärkte Winkelverbindung; bevorzugt für Blechkonstruktionen, gute Stabilität

Bild 7.25
Überlappte Rundverbindung; einfache, für Kraftübertragungen geeignete Verbindung

Bild 7.26
Überlappte Rundverbindung mit Außenmuffe; gebräuchliche Form der Rundverbindung, auch zur Übertragung größerer Kräfte gut geeignet, diese Art ist auch mit Innenmuffe und Innen- und Außenmuffe herstellbar

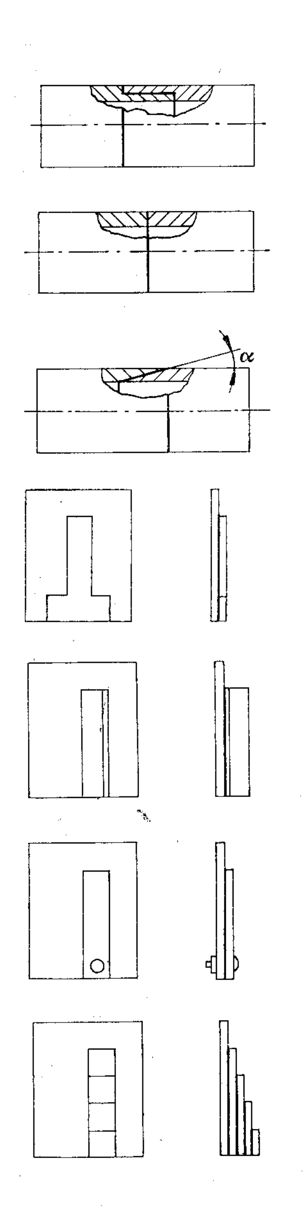


Bild 7.27
Abgesetzte Rundverbindung; für Kraftübertragungen gut anwendbar

Bild 7.28
Stumpfe Rundverbindung; für Kraftübertragungen nicht geeignet

Bild 7.29
Geschäftete Rundverbindung; für Kraftübertragungen mit kleiner werdendem Winkel α besser geeignet, sehr aufwendig

Bild 7.30
Klebflächenvergrößerung; einfach, aber geringe Wirkung

Bild 7.31
Verwendung von steifen Profilen; Winkelprofile ausreichender Stärke können wirkungsvoll gegen Schälbeanspruchung angewandt werden

Bild 7.32
Schraubensicherung; sehr sichere Konstruktion gegen Schälwirkungen, anstatt der Schraube ist auch ein Niet oder ein Schweißpunkt möglich

Bild 7.33
Lokale Versteifung; die lokale Versteifung kann nur dort zur Anwendung kommen, wo die Materialanhäufung nicht stört

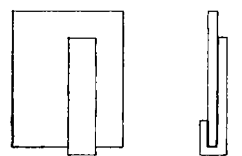


Bild 7.34
Umgebörtelter Rand;
die Lösung wird besonders
für Blechkonstruktionen
anwendbar sein

Vom Konstrukteur sollte die Klebfuge möglichst in Richtung der Kraftlinie laufen, um die wirkenden Kräfte als Schub- oder Scherkräfte zu erhalten.

Schwieriger ist die Situation bei der Ausbildung von Ecken. Dabei sind starkwandige Teile, wie sie Bild 7.16 bis Bild 7.20 darstellen, einfacher zu handhaben als dünnwandige. Bild 7.21 bis Bild 7.24 zeigen, daß teilweise eine Eckverstärkung erforderlich wird.

Konstruktiv günstig sind überlappte Rundverbindungen, wie in Bild 7.25 und Bild 7.26 dargestellt, da durch die Ineinanderfügung der Teile Schälkräfte ausgeschlossen werden und der geschlossene Klebstoffilm Torsions-, Zug- und Schubkräfte sehr gut aufnehmen kann. Natürlich können Rundlingspaarungen auch auf andere Art, wie in Bild 7.27 bis Bild 7.29 dargestellt, erfolgen. Die Klebfugendicke sollte nicht über ein Maximum von 0,1 mm hinausgehen, da mit wachsender Klebfugendicke (z. B. 10 mm bei *Epasol EP 30*) schwer kontrollierbare Nebenkräfte partiell oder asymmetrisch wirken können. Nicht in jedem Fall ist es möglich, auftretende Schälkräfte zu vermeiden. In Bild 7.30 bis Bild 7.34 sind fünf Möglichkeiten zur Vermeidung angedeutet, die sich ohne Probleme übernehmen lassen.

Über sonstige Plast-, Metall- und Blechkonstruktionen sowie Profilwerkstoffe kann in der einschlägigen Literatur nachgelesen werden [3, 4, 10, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 31].

Natürlich besteht auch die Möglichkeit, Klebverbindungen zu berechnen. Leider ist es zu aufwendig, darauf näher einzugehen. Als Grundlage sollte sich der Interessierte mit der entsprechenden Literatur beschäftigen [2, 12].

8. Ursachen für Fehlklebungen

Wie bei allen anderen Verbindungsverfahren kann auch beim Kleben eine hergestellte Verbindung nicht die gewünschte Festigkeit haben bzw. wieder auseinanderfallen. Man sollte dann weder auf den Klebstoff noch auf dieses Verfahren schimpfen, sondern lieber nach den Ursachen für dieses Versagen suchen.

Nachfolgend wird eine Übersicht über einige mögliche Fehler gegeben:

— Der Werkstoff ist nicht mit dem betreffenden Klebstoff verbindbar.
— Zur Verbindung von Werkstoffen mit sehr unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten darf kein spröder Klebstoff eingesetzt werden. Der Klebstoffilm ist etwas dicker auszubilden.
— Die Fügeteile haben nicht zusammengepaßt.
— Die Klebflächen sind nicht von Öl, Schmutz, Oxidschichten und ähnlichem befreit worden.
— Die gereinigten Klebflächen waren noch feucht oder haben zu lange gelegen bzw. sind nach der Vorbehandlung wieder verunreinigt worden.
— Die durch die Schrumpfung des Klebstoffs (besonders bei Polyester) entstandene Schrumpfspannung ist für den Werkstoff zu groß.
— Der Klebstoff hat sich noch nicht ausreichend verfestigt bzw. hat noch nicht abgebunden, die dazu erforderlichen Bedingungen sind nicht eingehalten worden (Druck, Temperatur, Mischungsverhältnis, Zeit).
— Der Klebstoff war überlagert.
— Die Klebkonstruktion weist Fehler auf.

Neben den Fehlern können auch noch andere Mängel auftreten, die aber nicht so häufig vorkommen. Ergänzend sei noch bemerkt, daß alle Arbeitsgeräte sauber sein müssen.

9. Arbeitsschutz

Wie bereits an einigen Stellen kurz bemerkt wurde, ist es unumgänglich, bestimmte arbeitsschutztechnische Maßnahmen einzuhalten, wenn nicht gesundheitliche Schäden bei häufigerem Gebrauch bestimmter Agenzien auftreten sollen.

9.1. Lösungsmittel und lösungsmittelhaltige Klebstoffe

Hier sollen nicht nur Probleme beim Umgang mit Lösungsmitteln, sondern auch mit lösungsmittelhaltigen Klebstoffen, wie Kleblacken und -spachteln, behandelt werden. Laut der ASAO 728 sind alle Lösungsmittel entsprechend ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung in drei Gruppen eingeteilt:

Gruppe I	sehr gesundheitsschädigend
Gruppe II	mittelmäßig gesundheitsschädigend
Gruppe III	wenig oder nicht gesundheitsschädigend

Besonders wenn mit Lösungsmitteln oder lösungsmittelhaltigen Erzeugnissen der Gruppe I gearbeitet wird, ist für eine gute Belüftung des Raumes zu sorgen. Da bereits kleine Mengen schädigend auf verschiedene Organe oder Teile davon wirken können, sollen sie auch nicht mit der Haut in Berührung kommen. Zu dieser Kategorie gehören PCD 13, PC 15, Tetrachlorkohlenstoff, Trichloräthylen, Perchloräthylen, Benzol u. a. Chlorierte Kohlenwasserstoffe können, wenn sie mit einer Flamme oder glühenden Zigarette in Berührung kommen, giftige Gase entwickeln. Infolge unsachgemäßen Umgangs mit solchen Stoffen sind schon sehr schwere Unfälle entstanden.

Auch mit Lösungsmitteln und lösungsmittelhaltigen Produkten der Gefährdungsgruppe II ist vorsichtig umzugehen. Zu ihnen gehören *Chemisol L 1503* und *Plastikfix*.

Angenehmer ist das Arbeiten mit solchen Flüssigkeiten und

Stoffen, die zur Gefährdungsgruppe III gehören wie *Mökoflex L 2837*, *L 2838*, *Epasin H 1243*, *H 1207*, *572*, *Reinalit 50*, *PCM 10*, *PCA 20*, *Epasol-Kontakt*, *Chemisol L 1100*, *1303*, *1403*, Methylenchlorid, Aceton, Äthylacetat.

Weiterhin sollte beim Arbeiten beachtet werden, daß fast alle Lösungsmittel sehr leicht brennbar sind und mit Luft explosive Gasgemische entstehen können. Weitere Hinweise enthält die angegebene Fachliteratur [1, 23, 24, 26, 32].

9.2. Epoxidharze und Härter

Sowohl Harze als auch Härter oder Gemische beider können zu starken Hautreizungen führen, so daß grundsätzlich jeder Kontakt mit der Haut zu vermeiden ist. Aber auch die Dämpfe können speziell auf den Schleimhäuten (Nase, Mund), den Augen, aber auch auf der Haut Reizungen hervorrufen, die sich durch Rötung, Pickel und Blasenbildungen äußern. Aus diesem Grund ist eine gute Belüftung des Raumes, in dem gearbeitet wird, notwendig.

Da der *Härter 3* stark ätzend wirkt, ist nicht nur das Tragen von Handschuhen, sondern auch die Benutzung einer Schutzbrille erforderlich. Spritzer auf der Hand sind sofort mit viel Wasser abzuspülen. Die Verwendung einer Hautcreme ist empfehlenswert. Vorratsgefäße stets gut verschlossen halten! Die Hände sind mit Wasser und Seife und nicht mit Lösungsmitteln zu reinigen. Für Epoxidharze und Härter gilt das Prinzip der berührungslosen Technik. Weitere Informationen können der ASAO 726a entnommen werden.

9.3. Polyester und Polyacrylate

Beim Arbeiten mit Polyester- und Acrylatharzen gelten ähnliche Bedingungen wie bei den Epoxidharzen.

Das im Polyester enthaltene Styrol und die in den Acrylatharzen enthaltenen monomeren Bestandteile wirken schleim-

hautreizend und haben eine narkotische Wirkung auf das zentrale Nervensystem. Der Kobaltbeschleuniger wirkt auf der Haut sensibilisierend. Die Peroxide, und speziell das Cyclohexanonperoxid, haben eine irritative Wirkung, die bis zur Verätzung gehen kann; es können sich auch Ekzeme bilden.

Besonders die Augen sind durch das Tragen einer Schutzbrille zu schützen. Verunreinigungen an den Händen sind mit reichlich Wasser und Seife abzuwaschen.

10. Klebstofftabellen

Folgende Klebstoffe können zum Kleben angegebener Werkstoffe verwendet werden:

Tabelle 10.1
Werkstoffpaarungen

Metall — Metall	EK 10, EGK 19, Epasol EP 6, EP 11, EP 30
Metall — Holz	Epasol EP 11, EP 6, EP 30, Cenusil
Metall — Gummi	Chemisol L 1403, L 1503, Chemikal
Metall — Keramik	Epasol EP 6, EP 11, Cenusil
PVC-H — Metall	PCM 10, PCA 20, PC 15
PVC-W — Metall	Chemisol L 1403, PC 15, Cenusil
PVC — PVC	PCM 10, PCA 20
PVC-H — Piacryl	Kalloplast R, Chemisol L 1403, Cenusil
PVC-H — Polystyrol	Kalloplast R
PVC-H — Polyester	PCM 10, Chemisol L 1403
PVC-H — Phenoplast	Kalloplast R, Chemisol L 1403, Cenusil
PVC-H — Celluloseacetat	Reinalit 50, Chemisol L 1503, Cenusil
Piacryl — Piacryl	Kalloplast R, Piaflex LT 30, Duosan
Piacryl — Polystyrol	Kalloplast R
Piycryl — Polyester	Polyester G, Mökodur L 5001
Piacryl — Epoxidharz	Epasol EP 6, Epilox EGK 19
Piycryl — Celluloseacetat	Reinalit 50, Cenusil
Piacryl — Metall	Kalloplast R, Mökodur L 5001
Piacryl — Keramik	Kalloplast R, Mökodur L 5001
Polystyrol — Polystyrol	Plastikfix, Polystyrolklebstoff 572
Polystyrol — Polyester	Kalloplast R, Polyester G

Polystyrol — Phenoplaste	Kalloplast R, Polyester G, Chemikal, Chemisol L 1503
Polystyrol — Celluloseacetat	Reinalit 50, Chemisol L 1503
Polyester — Polyester	Polyester G, Mökodur L 5001
Polyester — Celluloseacetat	Reinalit 50, Cenusil, Chemisol L 1503
Polyester — Metall	EGK 19 mit Härter 3, Polyester G
Polyester — Keramik	Mökodur L 5001, Cenusil
Polyester — Holz	Mökodur L 5001, Berliner Holzkaltleim
Phenoplast — Phenoplast	EK 10, EG 34 mit Härter 3, Epasol EP 11
Phenoplast — Metall	EK 10, Epasol EP 6, EP 11, EP 30
Phenoplast — Holz	Epasol EP 6, EP 11, EP 30
Celluloseacetat — Celluloseacetat	Reinalit 50, Chemisol L 1503
Keramik — Keramik	Epasol EP 6, Mökodur L 5001
Keramik — Holz	Epasol EP 6, Reinalit 50
Glas — Glas	EGK 19 mit Härter 3, EP 11, Cenusil
Holz — Holz	Berliner Holzkaltleim, Pelasal 136 G
Holz — Gummi	Chemisol L 1100, L 1303
Holz — Filz	Berliner Holzkaltleim, Bärenkleber Blausiegel

Neben diesen Klebstoffen eignen sich auch noch andere für den jeweiligen Anwendungsfall, so daß hier nur eine Auswahl vorgestellt werden kann.

Tabelle 10.2
Für Plastwerkstoffe geeignete Klebstoffe

PVC-H
PC-Klebstoffe, Kalloplast R, Chemisol L 1403, Cenusil
PVC-W
Chemisol L 1403, PC 15, PCA 20, Piaflex LT 30, Cenusil
Piacryl
Piaflex LT 30, Kalloplast R, Duosan-Rapid, Mökofix L 4001, Chemisol L 1503, EGK 19 mit Härter 3, Polyester G, Mökodur L 5001, Cenusil
Polystyrol
Polystyrolklebstoff 572, Plastikfix, Kalloplast R
Celluloseacetat
Chemisol L 1503, Reinalit 50, Cenusil
Polyester
Mökodur L 5001, Polyester G, Epasol EP 11, EGK 19 mit Härter 3, Chemisol L 1403
Epoxidharze
EGK 19 mit Härter 3, Epasol EP 11, Chemisol L 1403
Pheno- und Aminoplaste
EG 34 mit Härter 3, EGK 19 mit Härter 3, EK 10, Epasol EP 11, Duosan-Rapid, Emofix, Chemisol L 1403, Cenusil
Schaumstoffe
Berliner Holzkaltleim, Mökodur L 5001

Die maximale Temperaturbeständigkeit einiger Klebstoffe beträgt:

Tabelle 10.3
Einsatztemperatur einiger Klebstoffe

Epilox EGK 19 mit Härter 3	–40 bis +70 °C
Epilox EG 34 mit Härter 3	–40 bis +90 °C
Epilox EK 10	–50 bis +180 °C
Epasol EP 6	–40 bis +70 °C
Epasol EP 11	–40 bis +70 °C
Mökodur L 5001	–30 bis +70 °C
Kalloplast R	–40 bis +70 °C
Mökoflex L 2837	–20 bis +60 °C
Reinalit 50	–20 bis +40 °C
Piaflex LT 30	–40 bis +60 °C
Plastikfix	–20 bis +60 °C
Chemisol L 1503	–30 bis +50 °C
Chemisol L 1403	–30 bis +50 °C
PCA 20	–20 bis +40 °C
Cenusil	–50 bis +150 °C

11. Bezugsmöglichkeiten

Mökoflex L 2837, L 2838	örtlicher Fachhandel
Piaflex LT 30	VEB Düngemittelkombinat, Betrieb Stickstoffwerk Piesteritz
Epasin H 1243, H 1207, 572	VEB Asol-Chemie, Berlin
Reinalit 50, PCM 10, PCA 20, PC 15, Kittifix, Mökol, Duosan, Emofix, Plastikfix, Epasol-Kontakt, Chemikal, Cenusil, Chemisol L 1100, L 1303, L 1403, L 1503, Bärenkleber-Blausiegel, Berliner Holzkaltleim, Epasol EP 11, Hobbyplast	örtlicher Fachhandel
Epilox EGK 19 mit Härter 3	VEB Chemiehandel Erfurt
Epilox EG 34 mit Härter 3	VEB Chemiehandel Berlin
Epilox EK 10, Polyester Epasol EP 6, PE 3, Mökodur L 5001	VEB Schuhkombinat „Banner des Friedens“ Betrieb Mölkau
Füllstoff K 60, Blanc-fixe	VEB Chemische Fabrik Fährbrücke, 9513 Langenbach/Zwickau
Farbpasten	VEB Kalichemie Werk 4, Farbenfabrik Nerchau
Aluminiumpulver	örtlicher Fachhandel
Aluminiumoxid	VEB Chemiewerke „Albert Zimmermann“, 7705 Lauta
Graphit	A. Humann KG, 8313 Dohna
Mahlkaolin	VEB Vereinigte Klemmlitzer Kaolinwerke, 7661 Klemmlitz
Kreide	örtlicher Fachhandel

Schiefermehl 00	VEB Vereinigte Schiefergruben Unterloquitz
Talkum	örtlicher Fachhandel
Titandioxid	VEB Chemiehandel Berlin

12. Erläuterung häufig verwendeter Begriffe

Soweit die Begriffe in TGL 24 006 enthalten sind, wurde die Definition von dort sinngemäß übernommen.

Abbinden
: Verfestigung eines Urklebstoffs in sich und der Verbindung mit den Fügeteilen durch Verdunsten des Lösungs- bzw. Dispersionsmittels.

Adhäsion
: Wirkung atomarer und molekularer Anziehungskräfte an der Grenzfläche zwischen verschiedenartigen festen und/oder flüssigen Stoffen. Sie bedingt die Haftung zwischen diesen Stoffen.

Altern
: Veränderung der Eigenschaften von Stoffen infolge im Verlauf der Zeit einwirkender innerer und/oder äußerer Einflüsse.

Elastifizierungsmittel
: Organische Stoffe oder Stoffgemische, die als Zusatz zum Klebstoff den verfestigten Klebstoff intern oder extern elastisch machen. Interne Elastifizierungsmittel reagieren mit dem Klebgrundstoff, externe nicht; sie werden nur eingelagert.

Exotherme Reaktion
: ist eine chemische Reaktion, bei der Wärme frei wird.

Extrusion
: Unter Extrusion ist die kontinuierliche Herstellung von Plastprofilen mit geeigneten Maschinen zu verstehen.

Fixierung
: Festhalten der Fügeteile mit oder ohne Druck während des Abbindens oder Härtens von Klebstoffen.

Füllstoff
: Fester, nicht flüchtiger, im Klebstoff nicht löslicher und selbst nicht klebender Stoff, der dem Klebstoff zugegeben wird.

Füllstoffoberfläche, spezifische

Wirkliche Oberfläche des Füllstoffs. Sie beeinflußt die Benetzung des Füllstoffs durch den Klebstoff und das Einarbeiten des Füllstoffs in den Klebstoff.

Gebrauchsdauer

Zeitspanne zwischen „Beginn und Ende" der Verwendungsfähigkeit des Klebstoffs bzw. des Klebstoffansatzes bei Auftragstemperatur.

Klebdispersion

Zum Kleben bestimmte organische Grundstoffe, die in einem Dispersionsmittel fein verteilt, aber nicht gelöst sind.

Klebfestigkeit

Der auf die Flächeneinheit bezogene Widerstand gegen die Trennung der Klebverbindung durch angreifende äußere Kräfte.

Kohäsion

Wirkung von molekularen Anziehungskräften zwischen Atomen oder Molekülen gleicher Stoffe.

Kristallinität bei Plastwerkstoffen

Teilweise strukturelle Ordnung der Moleküle zu bestimmten Gittersystemen in den sonst amorphen Gefügen.

Leim

In Wasser löslicher oder gelöster Klebstoff.

MT

Masseteile.

Offene Wartezeit

Zeitspanne zwischen Auftragen des Klebstoffs und Fügen der Klebflächen.

Literaturverzeichnis

[1] *Mann, D.-R.* und *Zimdahl, E.:* Werkstoffkunde für Chemie-Ingenieure, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für die Grundstoffindustrie 1965

[2] Leichtbaukatalog des Instituts für Leichtbau

[3] *Sass, F., Bouché, Ch.* und *Leitner, A.:* Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau, Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer-Verlag 1963

[4] Akademischer Verein Hütte, E. V.: Hütte I, Berlin, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn 1955

[5] Prospekte des VEB Düngemittelkombinat, Betrieb Piesteritz

[6] *Schaaf, W.* und *Hahnemann, A.:* Verarbeitung von Plasten, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1970

[7] *Saechtling, H.* und *Zebrowski, W.:* Kunststoff-Taschenbuch, München, Carl Hanser Verlag 1965

[8] *Schrader, W.* und *Franke, W.:* Kleiner Wissensspeicher Plaste, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für die Grundstoffindustrie 1970

[9] Unsere Produkte, Katalog des VEB Chemische Werke Buna

[10 Informationshefte des Neuererzentrums Erfurt

[11] *Ludeck, W.:* Weich-PVC mit guten thermischen Eigenschaften, bisher noch nicht veröffentlichte Arbeit

[12] *Ludeck, W.:* Zur Anwendung von PVC, Der Elektro-Praktiker 27 (1973) 7, S. 247

[13] TGL 15 371: Plaste; Formmasse; Formteile; Begriffe; Allgemeines. Ausgabe 9.63

[14] TGL 15 565, Bl. 2: Plaste; Duroplast-Formmassen; Phenoplast-Preßmassen

[15] Plastadur-Preß- und Formmassen, Prospekte des VEB Plasta, Erkner

[16] TGL 15 565, Bl. 3: Plaste; Duroplast-Formmassen; Aminoplast-Preßmassen

[17] *Houwink, R.:* Grundriß der Technologie der synthetischen Hochmolekularen, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft 1952

[18] *Schaefer, W.:* Einführung in das Kunststoffgebiet, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft 1953

[19] Prospekte des VEB LEW über Elektroisolierstoffe

[20] *Ludeck, W.:* Glasfaser-Verstärkungsmittel für Polyester- und Epoxidharze, bisher noch nicht veröffentlichte Arbeit

[21] *Becker, R.:* Polyurethane, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1973

[22] *Dimter, L.:* Klebstoffe für Plaste, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für die Grundstoffindustrie 1969

[23] *Schwarz, H.* und *Schlegel, H.:* Metallkleben und glasfaserverstärkte Plaste in der Technik, Berlin, VEB Verlag Technik 1963

[24] *Schrader, W.:* Kunststoffhalbzeug-Verarbeitung und -Schweißung, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für die Grundstoffindustrie 1970

[25] *Plath, E.* und *Plath, L.:* Taschenbuch der Kitte und Klebstoffe, Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m.b.H. 1963

[26] *Kaliske, G.:* Ein Beitrag zum Entfetten metallischer Fügeteile mit Hilfe von organischen Lösungsmitteln, Dresden, IfL-Mitteilungen 6 (1967) 9, S. 347—352

[27] *Wonneberger, D.:* Verklebung von Halterungen aus Stahl für abgehängte Decken und andere Einrichtungen, Bauzeitung Juni 1968, S. 585—586

[28] *Wonneberger, D.*, und *Schlegel, H.:* Verbinden von Stahl und Beton durch Kleben, Bauplanung-Bautechnik, 22 (1968) 10, S. 488—491

[29] Prospekte des VEB Chemiewerk Nünchritz

[30] Klebstofftabellen des VEB Chemiehandels

[31] *Heinrich, W.:* Grundsätze der Plastanwendung, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für die Grundstoffindustrie 1966

[32] ASAO 728: Kennzeichnung der Löse- oder Verdünnungsmittel sowie Kennzeichnung der Erzeugnisse, in denen Löse- und Verdünnungsmittel enthalten sind

[33] TGL 15 372: Schichtpreßstoffe; Hartpapier, Hartgewebe

1. Auflage, 1976, 1.—15. Tausend

Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5 · LSV 3539
Lektor: Rainer Erlekampf
Zeichnungen: Gudrun Maraun
Typografie: Peter Mauksch · Hersteller: Ingeburg Zoschke
Vorauskorrektor: Ilse Fähndrich · Korrektor: Dietlinde Woitschig
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 20. 2. 1976
Bestellnummer: 745 807 8
DDR 1,90 M

